

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Návrh a realizace výukového přípravku pro

NI-ELVIS

Design and Realisation of Education Board for

NI-ELVIS

2018

Bc. Jakub Dohnal

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Dohnal**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma: **Návrh a realizace výukového přípravku pro NI-ELVIS**
Design and Realisation of Educational Board for NI-ELVIS

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh a realizace demonstrační desky do platformy NI-ELVIS, která umožní využít většiny periférií obsažených v NI-ELVIS pro účely školení dovedností s knihovnamí pro sběr dat NI-DAQ. Platforma NI-ELVIS obsahuje řadu často v laboratoři používaných přístrojů, jako jsou například osciloskop, digitální multimetr, funkční generátor, analogové a digitální vstupy a výstupy atd. Demonstrační deska bude sloužit k výukovým účelům.

Body zadání:

1. Seznámení se s vlastnostmi NI-ELVIS.
2. Nastudování dostupné dokumentace NI-ELVIS.
3. Návrh vhodných periférií desky a koncept interakce s NI-ELVIS.
4. Návrh a realizace kódu řídicího mikrokontroléru.
5. Návrh a realizace DPS.
6. Návrh a implementace vzorových SW úloh v LabVIEW.
7. Ověření funkce, zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 1934891088.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

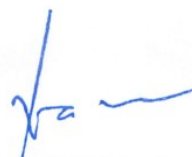
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení o samostatném vypracování

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

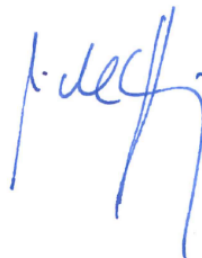
V Ostravě dne 30. 4. 2018



Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

V Ostravě dne 30. 4. 2018

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized cursive letters, likely representing the name of the signatory.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Petru Bilíkovi, PhD. za cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat firmě ATEsystem s.r.o. a jejím zaměstnancům, pro kterou byla tato diplomová práce tvořena.

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat desku s periferiemi, kompatibilní se zařízením NI ELVIS II, na které je řada elektronických zapojení, sloužící pro seznámení se s periferiemi tohoto zařízení a pro výuku virtuální instrumentace.

Práce se zabývá vlastnostmi a možnostmi platformy NI ELVIS II, je zde uveden popis a schémata jednotlivých navržených úloh. Úlohy jsou navrženy tak, aby svou náročností neodradily začátečníky, seznamující se s virtuální instrumentací. Přidanou hodnotu tvoří připojený mikrokontrolér, jenž na desce slouží jako simulátor řady periferií a rozšiřuje desku o prakticky jakoukoliv úlohu, která se do něj naprogramuje. Dále je v práci uveden způsob návrhu desky plošných spojů a možnosti programování v LabVIEW s popisem některých demo aplikací.

Klíčová slova

LabVIEW, EAGLE, mikrokontrolér, digitální sběrnice, deska plošných spojů, virtuální instrumentace, periferie

Abstract

The goal of this thesis is to design and construct a printed circuit board, compatible with NI ELVIS II, on which are various electronic circuits for the purpose of familiarization with peripherals of this device and for teaching virtual instrumentation.

The thesis deals with properties and capabilities of the NI ELVIS II platform, the description and schematics of the designed tasks are given. Tasks have been created so that they do not discourage beginners unfamiliar with virtual instrumentation. Added value is a microcontroller, which serves as a simulator of peripherals, and extends the board to practically any task that is programmed into it. The design of printed circuit board design and programming possibilities in LabVIEW with description of some demo applications is also presented.

Key words

LabVIEW, EAGLE, microcontroller, digital bus, printed circuit board, virtual instrumentation, peripherals

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	11
Seznam obrázků	13
Seznam tabulek.....	15
Úvod	16
1 NI ELVIS II.....	17
1.1 Elektrické vlastnosti NI ELVIS II	19
1.1.1 Napájení.....	19
1.1.2 Analogové vstupy	19
1.1.3 Analogové výstupy/Generátor průběhů.....	20
1.1.4 Digitální vstupy/výstupy a PFI.....	20
1.2 Popis vývodů sběrnice.....	20
2 Návrh periferií prototypové desky pro NI ELVIS II	23
2.1 Digitální vstupy/výstupy – statické	23
2.1.1 Tlačítka.....	23
2.1.2 Signalizační LED	24
2.1.3 Maticová klávesnice	25
2.2 Digitální vstupy/výstupy – sekvenční zápis/čtení	26
2.2.1 Posuvný registr	26
2.2.2 Obvod reálného času	27
2.2.3 Digitální potenciometr.....	28
2.2.4 Krokový motor	30
2.3 Analogové vstupy/výstupy	31
2.3.1 Potenciometr.....	31
2.3.2 Fotorezistor.....	32
2.3.3 NTC rezistor	33
2.3.4 IR senzor vzdálenosti	33
2.3.5 Filtry	34
2.3.6 Ventilátor s akcelerometrem.....	36
2.4 Čítač/časovač.....	37
2.4.1 Rotační enkodér.....	37
2.4.2 Převod kapacity na frekvenci	38
2.4.3 Generování PWM.....	39

2.4.4	DC komutátorový motor.....	39
2.5	Sériová linka RS-232	43
2.5.1	Ovládání LCD z PC.....	43
2.5.2	Ovládání RGB LED	43
2.5.3	Digitální teploměr.....	44
2.5.4	Řízený napěťový zdroj	44
2.5.5	Simulace měřicího přístroje.....	44
2.6	Speciální funkce NI ELVIS II	45
2.6.1	Měření voltampérových charakteristik.....	45
2.6.2	Modulace signálu	46
2.7	Převodník U/f, U/PWM.....	47
3	Mikrokontrolér	48
3.1	Volba mikrokontroléru.....	48
3.1.1	Úprava bipolárního napětí na unipolární	51
3.1.2	Úprava unipolárního napětí na bipolární	52
3.2	Návrh textového menu a navigace obsluhy úloh s MCU	53
3.3	HW simulovaný pomocí MCU.....	54
3.3.1	Deformace signálu.....	54
3.3.2	Chyby měřicích přístrojů.....	54
3.4	Komunikace MCU s PC.....	55
3.4.1	Sériová linka.....	55
3.5	Návrh kódu pro MCU	55
4	Návrh desky plošných spojů (DPS).....	58
4.1	Druhy DPS, výrobní třídy, materiály	58
4.2	Program Eagle pro návrh DPS	59
4.2.1	Editor schémat	60
4.2.2	Editor spojů	61
4.3	Propojení NI ELVIS II s periferiemi na desce	65
5	Ověření funkce	67
5.1	Programování NI-ELVIS II v LabVIEW	68
5.2	Tvorba demo aplikací v prostředí LabVIEW	69
5.2.1	Čtení stavu tlačítek	69
5.2.2	Zápis logického stavu na LED	70

5.2.3	Čtení stisknutého tlačítka klávesnice.....	70
5.2.4	Čtení analogového vstupu – potenciometr	71
5.2.5	Sekvenční zápis – posuvný registr	72
5.2.6	Sekvenční zápis – SPI potenciometr	73
5.2.7	PWM LED a čtení napětí na fotorezistoru	74
5.2.8	Ovládání LCD displeje pomocí PC	75
	Závěr.....	77
	Seznam použité literatury	78
	Přílohy	80

Seznam použitých zkratek

AC	Alternating Current
AD	Analogovo-Digitální
ADC	Analog to Digital Converter (AD převodník)
AI	Analog Input
AM	Amplitudová Modulace
AO	Analog Output
AVR	Alf Vegard Risc procesor
BNC	Bayonet Neill Concelman connector
C	Kapacita
CS	Chip Select
DA	Digitálně-Analogový
DC	Direct Current
DP	Dolní Propust
DIO	Digital Input / Output
DIP	Dual Inline Package switch
DMM	Digital MultiMeter
DPS	Deska Plošných Spojů
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ELVIS	Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
FIFO	First Input First Output
FM	Frekvenční Modulace
H	High
HP	Horní Propust
HW	HardWare
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IR	InfraRed
JTAG	Joint Test Action Group
L	Indukčnost
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LCD	Liquid-Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
MCU	MicroController Unit
MFP	Multi-Function Pin
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
MR	Master Reset
NI	National Instruments
NTC	Negative Temperature Coefficient
PC	Personal Computer
PFI	Programmable Function Interface
PWM	Pulse-Width Modulation

R	Rezistor, odpor
RGB	Red-Green-Blue
SAM	Smart Atmel Microcontroller
SCK	Serial Clock
SCL	Serial Clock Line
SCPI	Standard Commands for Programmable Instruments
SDA	Serial Data Line
SDI	Serial Data Input
SHCP	SHift register Clock Pin
SKO	Schmittův Klopný Obvod
SMD	Surface Mount Device
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
SS	Slave Select
STCP	STorage register Clock Pin
THT	Trough Hole Technology
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
USB	Universal Serial Bus

Seznam obrázků

Obr. 1 - Příklad HW konfigurace [21].....	17
Obr. 2 - Zadní strana NI ELVIS II [21].....	18
Obr. 3 - NI ELVIS II - pohled shora [21].....	18
Obr. 4 - Sběrnice NI ELVIS II	20
Obr. 5 - Zapojení tlačítka s pull-up rezistorem.....	23
Obr. 6 - Zapojení tlačítka s pull-down rezistorem.....	24
Obr. 7 - Zapojení LED diody	25
Obr. 8 - Zapojení maticové klávesnice.....	25
Obr. 9 - Časovací diagram obvodu 74HC595 [13].....	26
Obr. 10 - Zapojení obvodu 74HC595D s LED diodami.....	27
Obr. 11 - Zapojení obvodu PCF8563T.....	27
Obr. 12 - Protokol komunikace I ² C [5]	28
Obr. 13 - Blokový diagram obvodu PCF8583 [22].....	28
Obr. 14 - Blokové schéma MCP42010 [18].....	29
Obr. 15 - SPI - zápis do paměti [5].....	29
Obr. 16 - Příkazový byte pro zápis dat digitálního potenciometru.....	29
Obr. 17 - Zapojení obvodu MCP42010.....	30
Obr. 18 – Schéma zapojení krokového motoru	31
Obr. 19 - Zapojení potenciometru jako odporového děliče napětí	32
Obr. 20 - Zapojení fotorezistoru.....	32
Obr. 21 - Zapojení NTC rezistorů do můstku.....	33
Obr. 22 - Závislost výstupního napětí na vzdálenosti [11].....	34
Obr. 23 - Frekvenční charakteristiky filtrů.....	35
Obr. 24 - Zapojení aktivních filtrů	36
Obr. 25 - Zapojení ventilátoru.....	36
Obr. 26 - Zapojení stabilizátoru pro akcelerometr	37
Obr. 27 - Zapojení rotačního enkodéru s ošetřením zákmitů	38
Obr. 28 - Relaxační oscilátor s SKO	38
Obr. 29 – Princip PWM [8]	39
Obr. 30 - Základní zapojení lineárních stabilizátorů řady LM78XX [17].....	40
Obr. 31 - Schéma snižujícího DC/DC měniče.....	41
Obr. 32 - Připojení DC motoru k posilovači výstupů.....	42
Obr. 33 - Schéma blokování vstupů pro ovládání DC motoru	42
Obr. 34 - Připojení součástek pro měření voltampérových charakteristik	45
Obr. 35 - Amplitudová modulace.....	46
Obr. 36 - Frekvenční modulace.....	46
Obr. 37 - ATmega644PA v pouzdře TQFP44 [15]	49
Obr. 38 - Zapojení MCU	50
Obr. 39 - Napěťová reference 2,5 V	51
Obr. 40 - Úprava bipolárního rozsahu na unipolární.....	52
Obr. 41 - Úprava unipolárního rozsahu na bipolární.....	52
Obr. 42 - Zapojení MAX3221	55

Obr. 43 - Vývojový diagram programu MCU	56
Obr. 44 - Proudová zatížitelnost plošných spojů [2]	58
Obr. 45 - Kresby plošných spojů, zleva - standard, jemná rozteč, ultrajemná rozteč [2]	59
Obr. 46 - Vzhled schématického listu	60
Obr. 47 - Rozmístění součástek po vytvoření nového souboru pro editaci spojů	62
Obr. 48 - Vyhledávání součástky	62
Obr. 49 - Vrstva TOP	63
Obr. 50 - Vrstva BOTTOM	63
Obr. 51 - Výsledný vzhled prototypu desky	64
Obr. 52 - Prototyp desky zapojený do konektoru NI ELVIS II	64
Obr. 53 - Aplikace pro čtení stavu digitálních linek	67
Obr. 54 - Karta DAQmx – Data Acquisition	69
Obr. 55 - Čtení stavu tlačítek – čelní panel	69
Obr. 56 - Čtení stavu tlačítek – vývojový diagram	69
Obr. 57 - Zápis na LED – čelní panel	70
Obr. 58 - Zápis na LED – vývojový diagram	70
Obr. 59 - Čtení klávesnice – čelní panel	70
Obr. 60 - Čtení klávesnice – vývojový diagram	71
Obr. 61 - Čtení analogového vstupu – čelní panel	71
Obr. 62 - Čtení analogového vstupu – vývojový diagram	72
Obr. 63 - Posuvný registr – čelní panel	72
Obr. 64 - Posuvný registr – vývojový diagram	72
Obr. 65 - SPI potenciometr – čelní panel	73
Obr. 66 - SPI potenciometr – vývojový diagram	73
Obr. 67 - PWM LED + fotorezistor – čelní panel	74
Obr. 68 - PWM LED + fotorezistor – vývojový diagram	75
Obr. 69 - Ovládání LCD displeje pomocí PC – čelní panel	75
Obr. 70 - Ovládání LCD displeje pomocí PC – vývojový diagram	76
Obr. 71 - Vypsání textu na LCD displeji	76

Seznam tabulek

Tab. 1 – Pevné zdroje napětí [20].....	19
Tab. 2 – Nastavitelné zdroje napětí [20]	19
Tab. 3 – Napět'ové rozsahy vstupních logických úrovní [20]	20
Tab. 4 – Proudová zatížitelnost digitálních výstupů [20].....	20
Tab. 5 – Popis vývodů sběrnice [19]	21
Tab. 6 – Vysvětlivky symbolů (signálů) [19].....	22
Tab. 7 - Parametry krokového motoru 28BYJ48	30
Tab. 8 - Pravdivostní tabulka dvouvstupového hradla AND.....	31
Tab. 9 - Parametry DC motoru MM10.....	39
Tab. 10 - Zapojení vývodů MCU	50
Tab. 11 - Vzhled hlavního textového menu	54
Tab. 12 – Logické úrovně RS-232 [9].....	55
Tab. 13 – Použité vývody NI ELVIS II.....	65

Úvod

NI ELVIS II je určen pro měření a testování elektronických obvodů, které je možné zapojit na dodaném nepájivém kontaktním poli. Při zapojování součástek do kontaktního pole ovšem může docházet k chybnému zapojení, což může vést ke špatné funkci obvodu až k poškození zapojovaných součástek. Cílem této práce tedy je navrhnout a zkonstruovat desku plošných spojů, kompatibilní se zařízením NI ELVIS II, na které již budou připravena různá elektronická zapojení. Díky ucelenosti veškerých obvodů na jediné desce plošných spojů je plně vyloučena chyba způsobená nesprávným zapojením na nepájivém kontaktním poli. Výstupem této diplomové práce je navržená deska plošných spojů s různými typy připojených obvodů, sloužících pro seznámení se s periferiemi zařízení NI ELVIS II, což je v podstatě karta sběru dat s řadou vylepšení, a pro výuku virtuální instrumentace.

V práci je nejprve popsáno zařízení NI ELVIS II, jeho elektrické charakteristiky, popis jednotlivých vstupních, výstupních, nebo vstupně-výstupních linek a také propojení měřicího pracoviště. V následující kapitole č. 2 jsou rozepsány jednotlivé navržené periferie, které začínají jednoduchými obvody jako tlačítka a LED diody, kdy je zapotřebí jednoduchého programu pro čtení, nebo zápis. Úlohy přechází až do složitých sekvenčních zápisů digitálních rozhraní, zasílání řídicích textových příkazů po sériové lince nebo modulace signálu. Jsou zde také uvedeny samotná schémata zapojení součástek na desce.

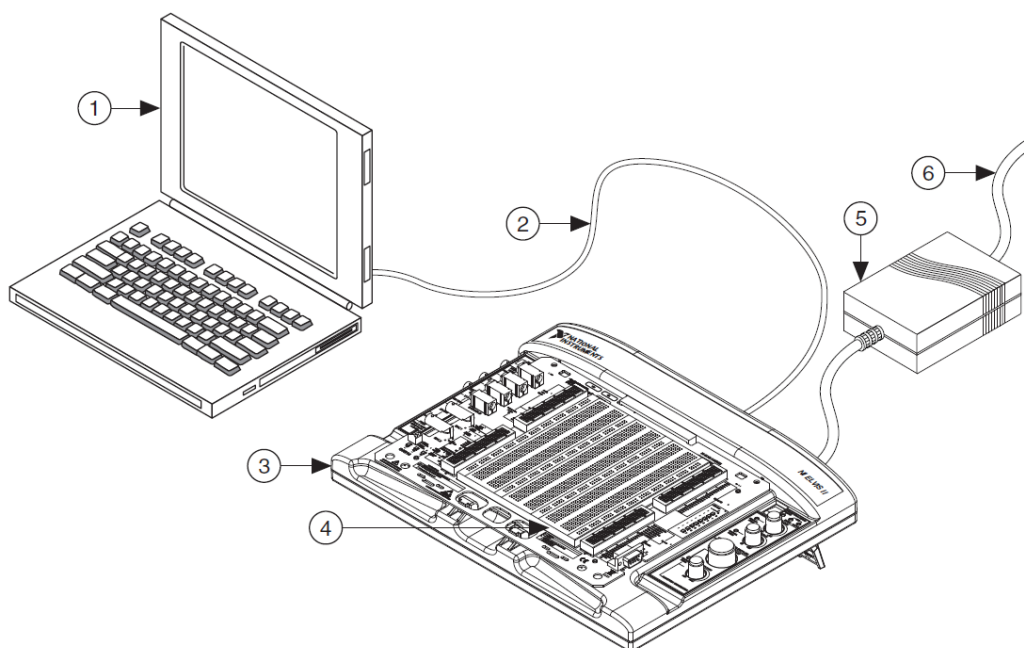
Kapitola 3 je věnována mikrokontroléru, který na desce slouží jako simulátor různých periférií a rozšiřuje desku o prakticky jakoukoliv úlohu, která se do něj naprogramuje. Mikrokontrolér disponuje sériovou linkou, jež slouží ke komunikaci s řídicím PC pomocí textových příkazů. Tímto způsobem lze simulovat řadu úloh pro práci s HW bez nutnosti tento HW mít přítomen. Tato kapitola se také věnuje propojením a úpravě signálů mezi mikrokontrolérem a zařízením NI ELVIS II. Nakonec je zde popsán vytvořený program pro mikrokontrolér a jeho jednotlivé bloky.

V kapitole 0 se nachází informace o návrhu a výrobě desek plošných spojů, použitém návrhovém programu EAGLE a výsledný vzhled osazeného prototypu desky.

V závěrečné kapitole č. 5 je popsán způsob ověření funkčnosti periférií NI ELVIS II pomocí předpřipravených aplikací od NI. Dále je zde popsán postup programování v prostředí LabVIEW a uvedeny některé z demonstračních aplikací, sloužící k obsluze zapojených obvodů.

1 NI ELVIS II

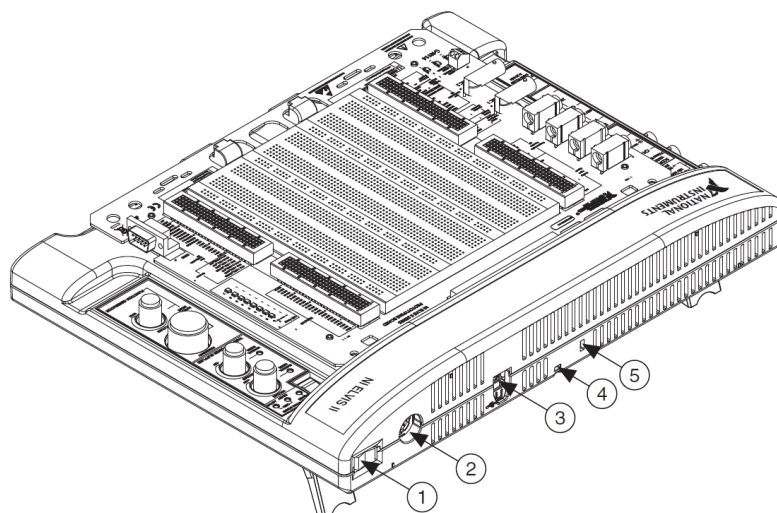
NI ELVIS II je modulární výukové zařízení, určené pro laboratorní účely technických oborů, převážně pak odvětví elektroniky, mechaniky a biomedicíny. Toto zařízení dokáže zpracovávat digitální i analogové signály a obsahuje vestavěné funkce, jako například multimetr, nebo měření volt-ampérových charakteristik. V neposlední řadě zařízení obsahuje napěťové zdroje pro napájení připojených periférií na desce a ochrany proti přetížení jak napájecích, tak i signálových linek. Na následujících obrázcích Obr. 1, Obr. 2 a Obr. 3 je popis komponentů zařízení a propojení jednotlivých částí pracovního prostředí. To, co činí NI ELVIS II univerzálním HW základem použitelným pro výuku celé řady technických oborů, je vyměnitelná prototypová deska, která pro standardní dodávku NI ELVIS II obsahuje pouze nepájivé pole. Náplní této diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit prototypovou desku s řadou HW periférií vhodných pro výuku virtuální instrumentace.



Obr. 1 - Příklad HW konfigurace [21]

Na Obr. 1 je konfigurace propojení NI ELVIS s PC a napájení, obsahuje tyto části:

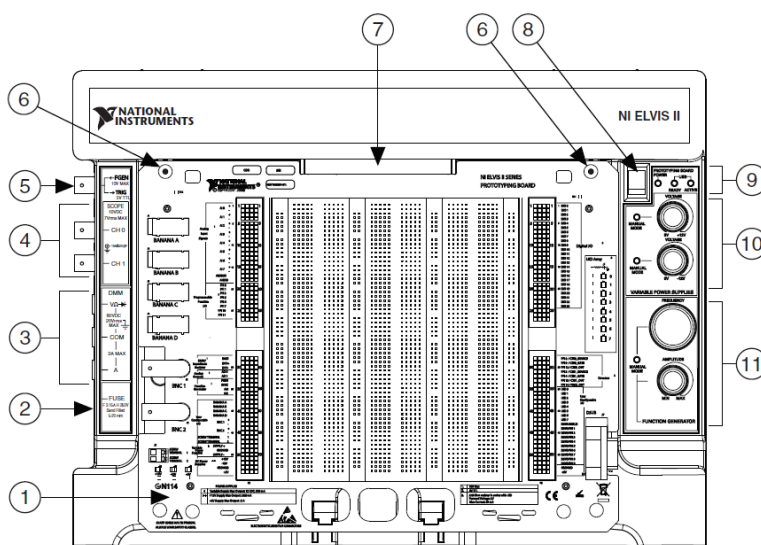
- 1) Laptop/PC
- 2) USB kabel
- 3) Pracovní stanice NI ELVIS II
- 4) Prototypová deska NI ELVIS II
- 5) Externí napájecí zdroj
- 6) Přívodní síťový kabel



Obr. 2 - Zadní strana NI ELVIS II [21]

Na Obr. 2 je detail na zadní stranu NI ELVIS II, obsahující tyto části:

- 1) Vypínač sloužící k zapnutí/vypnutí přístroje.
- 2) Konektor pro připojení napájení z externího DC zdroje
- 3) USB port pro připojení k PC
- 4) Kabelová svorka, sloužící k přichycení kabelů k zařízení
- 5) Bezpečnostní slot Kensington pro uzamčení zařízení



Obr. 3 - NI ELVIS II - pohled shora [21]

Na Obr. 3 je NI ELVIS II s prototypovou deskou, obsahující tyto prvky:

- 1) Prototypová deska NI ELVIS II
- 2) Pojistka DMM
- 3) Konektory DMM
- 4) BNC konektory osciloskopu
- 5) BNC konektor pro výstup generátoru/vstup digitálního triggeru

- 6) Díry pro přišroubování desky
- 7) Konektor pro připojení desky k NI ELVIS II
- 8) Vypínač pro připojení napájení na desku
- 9) Indikační LED diody
- 10) Ovládací prvky pro manuální nastavení nastavitelných zdrojů napětí
- 11) Ovládací prvky pro manuální nastavení generátoru

1.1 Elektrické vlastnosti NI ELVIS II

1.1.1 Napájení

Zařízení NI ELVIS II poskytuje několik zdrojů napětí, sloužící k napájení periferních obvodů, připojených na prototypové desce. Pevné zdroje napětí jsou jistěny resetovatelnou vratnou pojistkou proti zkratu a proměnné zdroje napětí jsou jistěny limitací výstupního proudu. Parametry jednotlivých napěťových zdrojů jsou uvedeny v tabulkách Tab. 1 a Tab. 2.

Tab. 1 – Pevné zdroje napětí [20]

Zdroj	Napětí	Maximální proud	Zvlnění a šum
+15 V	+15 V $\pm 5\%$	500 mA	1 % max.
-15 V	-15 V $\pm 5\%$	500 mA	1 % max.
+5 V	+5 V $\pm 5\%$	2 A	1 % max.

Tab. 2 – Nastavitelné zdroje napětí [20]

Zdroj	Napětí	Maximální proud	Zvlnění a šum	Přesnost	Rozlišení
Nastavitelný kladný	0 až +12 V	500 mA	25 mV	100 mV	10 bitů
Nastavitelný záporný	0 až -12 V	500 mA	25 mV	100 mV	10 bitů

1.1.2 Analogové vstupy

NI ELVIS II obsahuje 8 diferenciálních analogových vstupů, které je však možné použít jako jednoduché a tím pádem navýšit jejich počet až na 16. Rozlišení AD převodníku je 16 bitů a rychlost vzorkování je pro jeden kanál 1,25 MS/s a pro více kanálů je to 1 MS/s. Vstupní rozsah je přepínatelný a může nabývat těchto hodnot: ± 10 V, ± 5 V, ± 2 V, ± 1 V, $\pm 0,5$ V, $\pm 0,2$ V, $\pm 0,1$ V.

NI ELVIS II obsahuje jen jeden AD převodník a při měření na více kanálech současně jsou analogové vstupy multiplexovány. Analogové vstupy obsahují přepětovou ochranu, která je ± 25 V při zapnutém zařízení a ± 15 V při vypnutém zařízení. Vstupní proud při přepětí by neměl přesáhnout ± 20 mA na linku, jinak by mohlo dojít k poškození (proražení) ochrany.

1.1.3 Analogové výstupy/Generátor průběhů

NI ELVIS II obsahuje 2 kanály pro analogový výstup, z nichž jeden může být použit jako zabudovaný generátor průběhů. Rozlišení DA převodníku je 16 bitů a maximální rychlost aktualizace hodnoty na výstupu je: 1 kanál 2,8 MS/s, 2 kanály je to 2 MS/s. Výstupní rozsahy jsou: ± 10 V, ± 5 V.

1.1.4 Digitální vstupy/výstupy a PFI

NI ELVIS II má k dispozici 24 vstupně/výstupních digitálních linek a 15 programovatelných linek, které lze použít jako vstupně/výstupní linky, nebo využít speciálních periférií jako čítačů/časovačů, digitálního frekvenčního generátoru, nebo například jako trigger.

Tab. 3 – Napěťové rozsahy vstupních logických úrovní [20]

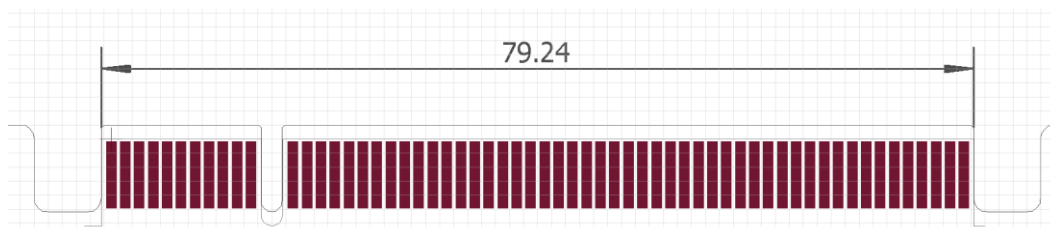
Logická úroveň	Minimální hodnota napětí	Maximální hodnota napětí
H – 1	2,2 V	5,25 V
L – 0	0 V	0,8 V

Tab. 4 – Proudová zatížitelnost digitálních výstupů [20]

Rozhraní	Maximální výstupní proud pro log. 1	Maximální výstupní proud pro log. 0
DIO	-24 mA	24 mA
PFI	-16 mA	16 mA

1.2 Popis vývodů sběrnice

Na Obr. 4 je zobrazena sběrnice použitá pro připojení prototypové desky do zařízení NI ELVIS II. Číslování vývodů je zprava, strana A je vespod a strana B nahoře.



Obr. 4 - Sběrnice NI ELVIS II

V tabulce Tab. 5 jsou rozepsány připojené signály ze strany od zařízení NI ELVIS II.

Tab. 5 – Popis vývodů sběrnice [19]

číslo vývodu	strana A	strana B	číslo vývodu	strana A	strana B
	význam			význam	
1	+15V	-15V	32	PFI 11	PFI 1
2	+15V	-15V	33	PFI 0	PFI 3
3	+5V	GND	34	PFI 4	PFI 13
4	+5V	GND	35	PFI 8	PFI 9
5	+5V	GND	36	PFI 12	PFI 14
6	GND	GND	37	GND	GND
7	DIO 6	DIO 7	38	rezervováno	rezervováno
8	DIO 4	DIO 5	39	AIGND	AIGND
9	DIO 2	DIO 3	40	AI 7+	AI 7-
10	DIO 0	DIO 1	41	AI 6+	AI 6-
11	GND	GND	42	AI 5+	AI 5-
12	nezapojeno	nezapojeno	43	AI 4+	AI 4-
13	nezapojeno	nezapojeno	44	AIGND	AIGND
14	DIO 14	DIO 15	45	AI 3+	AI 3-
15	DIO 12	DIO 13	46	AI 2+	AI 2-
16	DIO 10	DIO 11	47	AI 1+	AI 1-
17	DIO 8	DIO 9	48	AI 0+	AI 0-
18	GND	GND	49	AISENSE	nezapojeno
19	BoardID6	BoardID7	50	KEYWAY	KEYWAY
20	BoardID4	BoardID5	51	KEYWAY	KEYWAY
21	BoardID2	BoardID3	52	nezapojeno	nezapojeno
22	BoardID0	BoardID1	53	SYNC	FM
23	GND	GND	54	FGEN	AM
24	nezapojeno	DIO 23	55	GND	VCC
25	DIO 22	DIO 21	56	nezapojeno	GND
26	DIO 20	DIO 19	57	DUT-	NC
27	DIO 18	DIO 17	58	Base	DUT+
28	DIO 16	SB_PRES	59	GND	GND
29	nezapojeno	PFI 6	60	AO 0	AO 1
30	PFI 5	PFI 7	61	GND	GND
31	PFI 2	PFI 10	62	Supply-	Supply+

Symbole a zkratky použité v tabulce Tab. 5 jsou vysvětleny v tabulce Tab. 6.

Tab. 6 – Vysvětlivky symbolů (signálů) [19]

Legenda	Typ	Popis
+15V	DC zdroj napájení	+15 V pevné napětí
-15V		-15 V pevné napětí
+5V		+5 V pevné napětí
GND		Zem
DIO<0..23>	Digitální vstupy/výstupy	Digitální kanály pro obecné použití
BoardID<0..7>		Těchto 8 vývodů tvoří ID pro každý typ prototypové desky
SB_PRES		Indikace kompletně připojené desky. Vývod připojen přímo k VCC.
PFI<0..2>, <5..7>, <10..11>	Programovatelné funkční rozhraní	PFI linky
PFI 8		PFI linka - výchozí funkce: Zdroj čítače 0
PFI 9		PFI linka - výchozí funkce: Gate čítače 0
PFI 12		PFI linka - výchozí funkce: Výstup čítače 0
PFI 3		PFI linka - výchozí funkce: Zdroj čítače 1
PFI 4		PFI linka - výchozí funkce: Gate čítače 1
PFI 13		PFI linka - výchozí funkce: Výstup čítače 1
PFI 14		PFI linka - výchozí funkce: Frekvenční výstup
AI<0..7> ±	Analogové vstupy	Vstupní analogové kanály - diferenční, nebo single
AIGND		Zem a referenční zem pro analogové vstupní signály
AISENSE		Reference pro analogové vstupy v NRSE módu
FGEN	Funkční generátor	Výstup z funkčního generátoru
SYNC		TTL výstup synchronizovaný s FGEN signálem
AM		Vstup amplitudové modulace - vstup pro modulaci amplitudy FGEN signálu
FM		Vstup frekvenční modulace - vstup pro modulaci frekvence FGEN signálu
BASE	3vodičový U/I analyzátor	Excitace (buzení) báze tranzistorů BJT
DUT+	DMM, Impedance, 2 a 3vodičové analyzátory	Buzení pro kapacitní a indukční měření (DMM), impedanční analyzátor, 2 a 3vodičový analyzátor
DUT-		Virtuální zem a proudové měření pro kapacitní a indukční měření (DMM), impedanční analyzátor, 2 a 3vodičový analyzátor
AO<0..1>	Analogové výstupy	Analogové výstupy pro generování libovolného signálu
VCC	Pull-up signál	+5V Pull-up signál
Supply+	Proměnný napájecí zdroj	Kladný proměnný napájecí zdroj 0 až 12 V
Supply-		Záporný proměnný napájecí zdroj -12 až 0 V

2 Návrh periférií prototypové desky pro NI ELVIS II

Náplní této diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit prototypovou desku pro NI ELVIS II s řadou HW periférií vhodných pro výuku virtuální instrumentace. Zvolené typy a počet periférií na prototypové desce jsou poplatné účelu použití a dostupným vstupům/výstupům na NI ELVIS II. V této kapitole jsou uvedeny navržené HW periferie a způsob jejich připojení k NI ELVIS II.

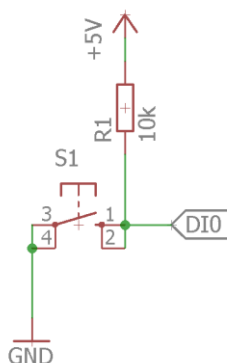
2.1 Digitální vstupy/výstupy – statické

Tyto periferie jsou ovládány nebo čteny okamžitě a není třeba použít žádný pomocný řídicí signál, číst nebo zasílat kódovou sekvenci. Jejich účelem je seznámení s digitálním čtením/zápisem.

2.1.1 Tlačítka

Jako standartní vstupní zařízení se používají tlačítka, kdy se pomocí zmáčknutí tlačítka změní logická úroveň na vstupu. Tlačítko je typicky doprovázeno jedním rezistorem, který slouží pro vytvoření klidového stavu logické jedničky (pull-up), nebo nuly (pull-down).

Tlačítko s pull-up rezistorem



Obr. 5 - Zapojení tlačítka s pull-up rezistorem

Popis funkce obvodu:

Při nestisknutém tlačítku je na vstupu DI0 logická jednička, která je přivedená přes rezistor R1, viz Obr. 5. Do vstupu v tuto chvíli teče proud závislý na vstupním odporu měřicí karty NI ELVIS II. Tento vstupní odpor je tvořen pull-down rezistorem a činí typicky 50 kΩ. Proud do vstupu se vypočte pomocí Ohmova zákona:

$$I_{IN} = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_{IN}} = \frac{5}{10\,000 + 50\,000} = 0,083\,mA \quad (1.1)$$

Při tomto způsobu zapojení však dochází k problému v podobě děliče napětí, kdy se napětí na vstupu sníží na hodnotu přímo úměrnou poměru obou rezistorů.

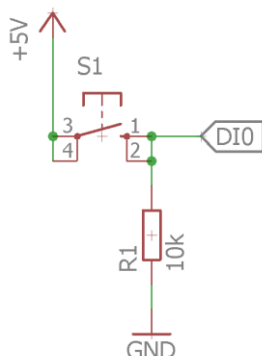
$$U_{IN} = R_{IN} \cdot I_{IN} = 50\,000 \cdot 0,000083 = 4,15\,V \quad (1.2)$$

Na vstupu je tedy napětí o hodnotě 4,15 V, která je v bezpečném rozsahu a tedy lze toto zapojení použít.

Po stisknutí tlačítka dojde ke spojení vstupu se signálovou zemí a přes rezistor teče proud závislý na jeho hodnotě (odpor sepnutého tlačítka je zanedbatelný).

$$I = \frac{U}{R_1} = \frac{5}{10\,000} = 0,5\,mA \quad (1.3)$$

Tlačítko s pull-down rezistorem



Obr. 6 - Zapojení tlačítka s pull-down rezistorem

Popis funkce obvodu:

Při nestisknutém tlačítku je na vstupu DI0 logická nula, která je tvořena kombinací rezistoru R1 a vstupního odporu. Do vstupu v tuto chvíli neteče žádný proud a je na něm napětí 0 V.

Po stisknutí tlačítka dojde ke spojení vstupu s logickou jedničkou, je na něm přítomno napětí o hodnotě 5V (odpor sepnutého tlačítka je zanedbatelný). Přes rezistor R1 a vstupní odpor digitálního vstupu teče proud, jenž se vypočte:

$$I = I_1 + I_{IN} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_{IN}} = \frac{5}{10\,000} + \frac{5}{50\,000} = 0,6\,mA \quad (1.4)$$

Při porovnání obou způsobů je zřejmé, že je výhodnější použít variantu s pull-down rezistorem, schéma viz Obr. 6. Do digitálního vstupu při nečinnosti neteče žádný proud a také nedochází k poklesu napětí na vstupu. Čtení stavu tlačítka dále nevyžaduje negaci (logická 1 představuje stisknuté tlačítko).

2.1.2 Signalizační LED

Jako signalizace aktivního výstupu se používají LED diody. Proud standartního typu LED diody v propustném směru je 20 mA. Pokud však není třeba plný jas LED lze použít menší hodnotu proudu. Propustné napětí LED diody je závislé na použitém typu, především pak vybrané barvy. Protože je výstupní proud digitálních linek shodný pro logickou jedničku i nulu nezáleží tedy na vybrané budicí logické úrovni. Z důvodu jednodušší práce s reprezentací zobrazovaných hodnot se LED dioda budí logickou jedničkou.

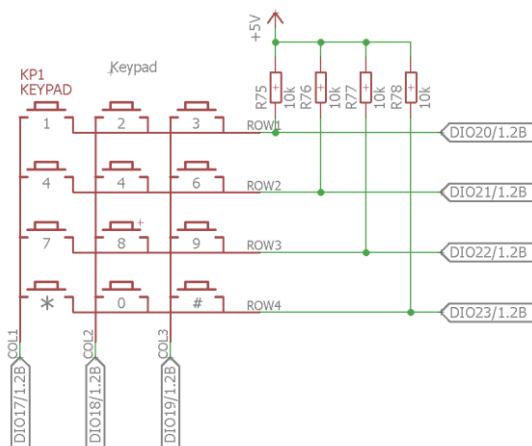


Obr. 7 - Zapojení LED diody

Při použití zelené LED diody KP-2012CGCK je hodnota napětí v propustném směru typicky 2,1 V. Hodnota rezistoru pro sériové spojení s LED diodou je zvolena 470 Ω . Při této hodnotě protéká LED diodou proud 6,2 mA.

2.1.3 Maticová klávesnice

Maticově zapojená klávesnice slouží ke čtení stavu tlačítek za použití vstupně-výstupních digitálních linek. Při použití 12tlačítkové klávesnice, která je zapojená do 3 sloupců a 4 řádků tak postačí 7 linek. Při tomto zapojení tak dochází k úspoře potřebných vodičů na úkor snížení rychlosti čtení z důvodu multiplexace a také k potřebě složitějšího kódu pro čtení. Zapojení maticové klávesnice s pull-up rezistory je vyobrazeno na Obr. 8.



Obr. 8 - Zapojení maticové klávesnice

Princip snímání stisknuté klávesy je následující:

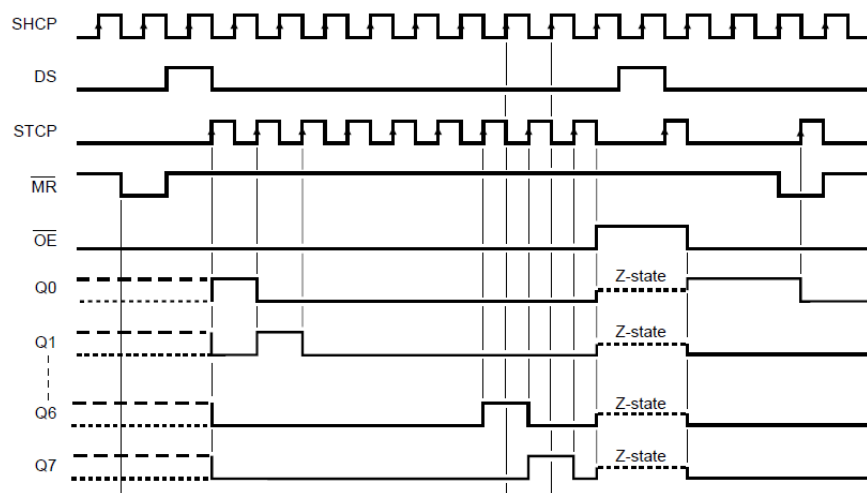
Digitální linky NI ELVIS II připojené na řádky maticové klávesnice se nastaví jako vstupní. Na těchto vstupech jsou připojeny pull-up rezistory, které zajišťují slabou logickou 1. Linky připojené ke sloupcům klávesnice jsou nastaveny jako výstupy. Dále se na jeden z řádků zašle logická 0, na ostatních je logická 1. Poté se čte logický stav na řádcích. Pokud se na některém z řádků objeví logická 0, tak to potom znamená, že na tomto řádku a příslušném sloupci byla zmáčknuta klávesa. Tento postup se opakuje pro ostatní sloupce.

2.2 Digitální vstupy/výstupy – sekvenční zápis/čtení

2.2.1 Posuvný registr

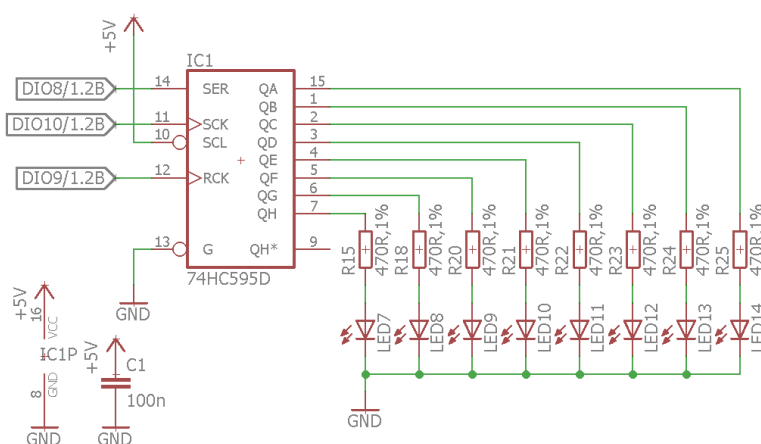
Posuvné registry se používají pro převod sériových dat na paralelní. Za cenu snížení přenosové rychlosti lze však pomocí několika vodičů (z pravidla stačí 3) navýšit počet ovládaných výstupů pomocí kaskádního zapojení na prakticky neomezený počet. Čím je však vyšší počet ovládaných výstupů, tím je nižší rychlost.

Jako posuvný registr byl vybrán často používaný obvod 74HC595, což je 8bitový posuvný registr. Jeho napájecí napětí je 5 V a na jeho osmi výstupech je schopný dodat až 35 mA proudu na každý vývod. Proud napájecími vývody je však maximálně 70 mA. Pokud vezmeme v potaz stejnou hodnotu rezistoru, jaká je použita u zapojení digitální linky s LED diodou, potom bude celkový maximální proud na výstupu 49,6 mA. Na Obr. 9 je časovací diagram jednotlivých vstupů a výstupů obvodu. Signál SHCP je hodinový signál, řídící takt obvodu a tím i jeho rychlost. Pro vstup dat slouží signál DS. Signál STCP slouží jako hodinový signál pro výstupní registr. MR je reset a slouží k vynulování výstupního registru. Signál OE slouží k povolení výstupu, a pokud není aktivní, tak je na výstupech stav vysoké impedance.



Obr. 9 - Časovací diagram obvodu 74HC595 [13]

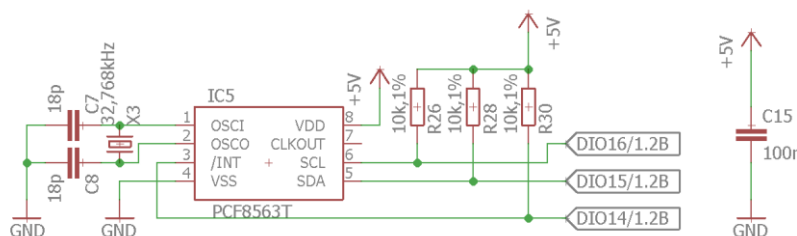
Pro co nejmenší počet použitých digitálních linek se k řízení výstupního stavu posuvného registru používají pouze signály SHCP, STCP a DS. Povolení výstupu je zapojeno natrvalo do aktivního stavu a reset je zapojen do neaktivního stavu, viz Obr. 10.



Obr. 10 - Zapojení obvodu 74HC595D s LED diodami

2.2.2 Obvod reálného času

V elektronice se využívá k získání aktuálního času a data. Tento obvod je po nastavení naprogramováním soběstačný a obsahuje digitální sběrnici pro čtení a zápis dat do digitálního kalendáře. Tyto obvody obsahují speciální vstup pro připojení zálohovací baterie nebo kondenzátoru, aby i při výpadku elektrické energie nedošlo ke ztrátě dat. Odběr zařízení při napájení z baterie je pod 1 μA , zařízení je tedy schopné fungovat po dlouhou dobu bez připojeného primárního zdroje energie.

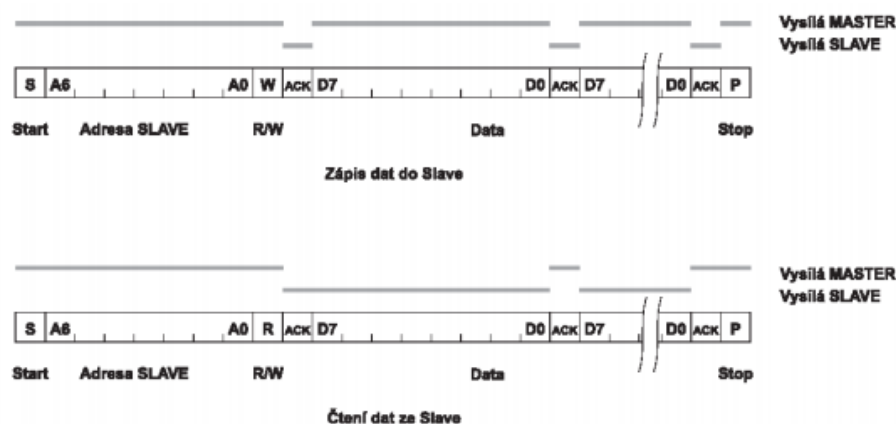


Obr. 11 - Zapojení obvodu PCF8563T

Tento obvod používá digitální rozhraní I²C. Je to synchronní obousměrná komunikace, která se provádí pomocí 2 signálových vodičů a to:

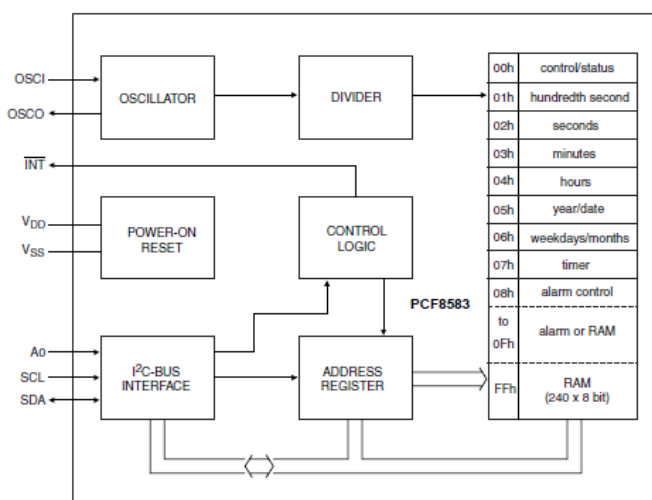
- Hodinový signál SCL
- Datový obousměrný signál SDA

Zařízení jsou na datovém vodiči připojeny jako otevřený kolektor, z tohoto důvodu je na sběrnici připojen pull-up rezistor, který zajišťuje logickou 1, viz Obr. 11. Zařízení pak může sběrnici zkratovat a připojit ji tak na logickou 0.



Obr. 12 - Protokol komunikace I²C [5]

Každému přenosu mezi zařízením typu master a zařízením typu slave předchází vyslání podmínky START. Potom je vysílána adresa příjemce a jeden bit R/W, který indikuje požadovanou operaci (čtení/zápis). Další bit ACK je vyslán s úrovní L a je určen k potvrzení přijímací stanicí. Dále jsou přenášena data ve směru určeném předchozím bitem R/W. Každý byte je následován jedním bitem ACK. Po ukončení přenosu je vyslána podmínka STOP. Podmínka START je vygenerována změnou úrovně z H na L na datové lince SDA, STOP podmínka pak při změně z L na H při úrovni H na lince SCL. Potvrzení ACK je generováno úrovní L na lince SDA při L na SCL [5]. Grafická interpretace popisované komunikace je vyobrazena na Obr. 12.



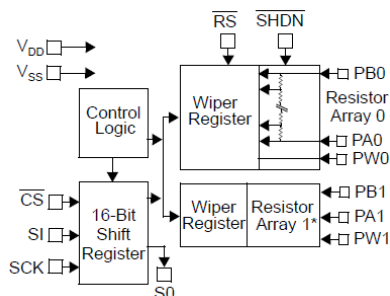
Obr. 13 - Blokový diagram obvodu PCF8583 [22]

Z blokového diagramu obvodu PCF8583 viz Obr. 13, lze snadno zjistit, že pro nastavení/vyčtení času a data slouží paměťové registry na adresách 01h – 06h.

2.2.3 Digitální potenciometr

Digitální potenciometr je obvod, který za použití digitální sběrnice mění odpor na pomyslném jezdcí potenciometru. Lze tak měnit poměr na odporovém děliči přes digitální sběrnici bez použití prostorných a pohyblivých částí, které se během používání opotřebovávají a zhoršují tak svou kvalitu odporové dráhy. Nedochozí pak k nepříjemnému šelestu při změně odporu na jezdcí. Nevýhodou je

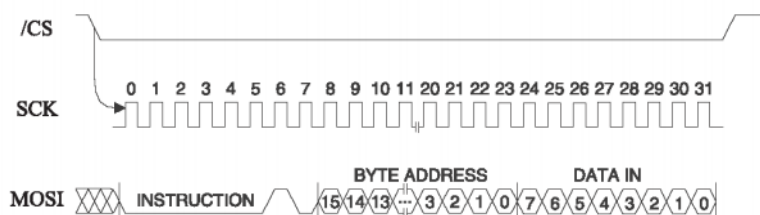
nespojité skokové přepínání odporového děliče, jehož rozlišení bývá obvykle do 10 bitů (použitý typ 8 bitů).



Obr. 14 - Blokové schéma MCP42010 [18]

Použitý digitální potenciometr MCP42010 je ovládán pomocí rozhraní SPI. Jedná se o obousměrnou synchronní komunikaci, ke které může být připojeno více řízených obvodů. Rozhraní SPI se skládá z těchto signálových vodičů:

- MOSI – datový výstup řídicího obvodu
- MISO – datový vstup řídicího obvodu
- SCK – hodinový signál
- SS – signál pro výběr obvodu, s kterým bude řídicí obvod komunikovat

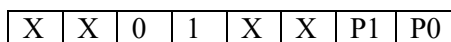


Obr. 15 - SPI - zápis do paměti [5]

Zpětně se informace o nastaveném odporu bude na NI ELVIS II měřit pomocí analogových vstupů a není tedy třeba zapojovat MISO signál. Výsledné schéma zapojení digitálního potenciometru je uvedeno na Obr. 17. Obvod MCP42010 obsahuje 2 digitální potenciometry, viz Obr. 14, jejichž hodnoty se budou měřit pomocí diferenčního zapojení analogového vstupu.

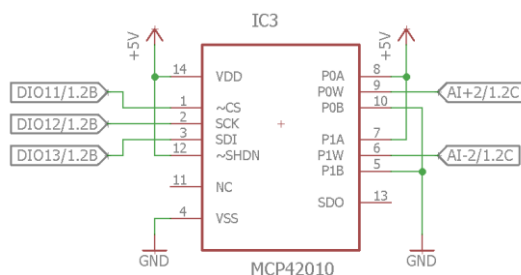
Zasílaná instrukce a data pro nastavení hodnoty jezdce potenciometru mají následující tvar:

- Prvních 8 bitů tvoří příkazový byte. Hodnotami P1 a P0 se nastavuje ovládaný potenciometr, na hodnotě X nezáleží. Posloupnost příkazového bytu:



Obr. 16 - Příkazový byte pro zápis dat digitálního potenciometru

- Dalších 8 bitů je již daná hodnota pro nastavení odporu. Může nabývat hodnot 0 – 255.



Obr. 17 - Zapojení obvodu MCP42010

2.2.4 Krokový motor

Krokový motor je synchronní motor, rotor se tedy otáčí stejnou rychlostí jako magnetické pole statoru. Díky přesně definované velikosti kroků těchto motorů se používají především pro přesné polohování. Tyto motory tak lze s výhodami uplatnit v průmyslových aplikacích, ve 3D tiskárnách, nebo například v motorizovaném objektivu. Krokový motor se skládá z:

- rotoru, který může být z magneticky měkkého, nebo tvrdého materiálu
- statoru, který je tvořen několika dvojicemi cívek. Tyto cívky mohou být zapojeny unipolárně (každá cívka se budí zvlášť, cívky mají jeden společný vývod), nebo bipolárně (dvojice cívek jsou zapojeny sériově)

V návrhu byl použit unipolární typ krokového motoru 28BYJ48, vyráběný firmou Kiatronics. Parametry krokového motoru jsou uvedeny v Tab. 7.

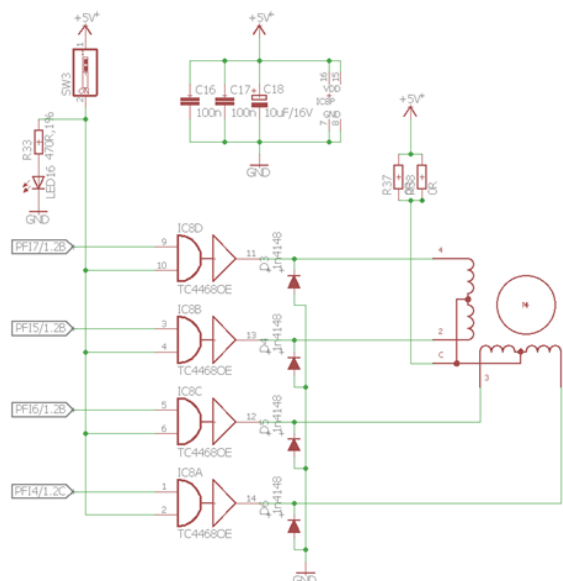
Tab. 7 - Parametry krokového motoru 28BYJ48

Napájecí napětí	Počet fází	Počet kroků na otočku	Úhel na krok	Frekvence	Stejnoseměrný odpor
(V)	(-)	(-)	(°)	(Hz)	(Ω)
5	4	64	5,625	100	50

Zapojení motoru

Krokový motor je připojen na výstup posilovače výstupů, který slouží k proudovému oddělení zdroje signálu a spotřebiče. Ze zdroje signálu tak teče pouze zanedbatelný proud, potřebný k vybuzení vstupních obvodů, zatímco z výstupu posilovače výstupů je možné odebírat mnohonásobně větší proud, než který by byl zdroj signálu schopný dodat (požitý typ má výstupní proud až 300mA). Jako zdroj ovládacího signálu slouží PFI linky 4, 5, 6 a 7 (Tab. 13)

Na schématu, viz Obr. 18, jsou k napájení +5 V připojeny blokovací kondenzátory C16 – C18, které slouží k pokrytí proudových špiček při skokových změnách spínání fází krokového motoru. Diody D3 – D6 slouží ke svodu vzniklého indukovaného napětí o opačné polaritě, které vzniká vlivem rozpínáním induktivní zátěže představující jednotlivé fáze motoru.



Obr. 18 – Schéma zapojení krokového motoru

Použitý posilovač výstupů TC4468CE obsahuje na vstupu dvouvstupové hradlo AND, čehož je využito k blokaci ovládacích vstupů. Aby se zabránilo nechtěnému spouštění motoru, nebo průtoku přídržného proudu vlivem statické hodnoty na ovládacích vstupech, byl do schématu přidán DIP přepínač, jehož stav je indikován LED diodou. Tento přepínač je připojen na jeden ze vstupů hradel AND, na druhém vstupu je připojen ovládací signál z PFI linek.

Tab. 8 - Pravdivostní tabulka dvouvstupového hradla AND

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

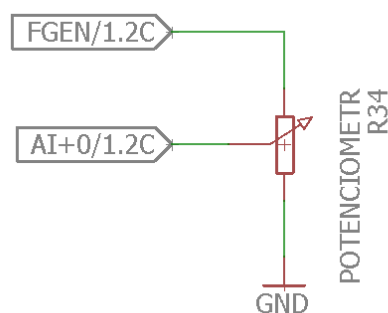
2.3 Analogové vstupy/výstupy

2.3.1 Potenciometr

Potenciometr je proměnný odpor, skládá se z odporové dráhy, mezi jejímiž dvěma konci se pohybuje jezdec. Potenciometr je možné zapojit dvěma základními způsoby:

- paralelně jako dělič napětí
- sériově jako omezovač proudu

Na výukové desce je využito zapojení potenciometru jako děliče napětí, viz Obr. 19. V tomto zapojení dochází k plynulé změně výstupního napětí, které je měřeno na jeho jezdcí. Přenos potenciometru potom může nabývat hodnoty 0 – 1. Při nezatíženém děliči pak velikost napětíového přenosu A_U odpovídá poloze jezdce na odporové dráze.

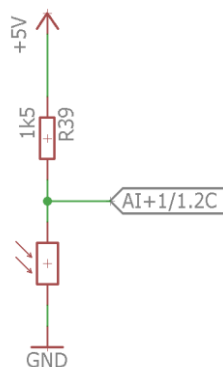


Obr. 19 - Zapojení potenciometru jako odporového děliče napětí

2.3.2 Fotorezistor

Fotorezistor patří do skupiny řízených rezistorů. To jsou součástky, u kterých je jejich odpor měněn další neelektrickou veličinou. Fotorezistor je polovodičový rezistor, u kterého se využívá nárůstu vodivosti polovodiče po osvětlení. Používá se k měření a u zapojení ovládaných změnou osvětlení. Mají širokou spektrální citlivost, ale dlouhou dobu zotavení a nehodí se tedy pro rychle se měnící hodnoty osvětlení. [6]

Pro měření odporu fotorezistoru je třeba, aby jím procházel malý měřicí proud. Pokud se fotorezistor připojí do série s rezistorem, sestojí se tak odporový dělič, viz Obr. 20.



Obr. 20 - Zapojení fotorezistoru

Pomocí změřeného napětí mezi rezistorem a fotorezistorem je možné vypočítat odpor fotorezistoru. Pro výpočet proudu bude platit:

$$I = \frac{U_{NAP} - U_{NAM}}{R_{MĚŘ}}, \quad (2.1)$$

kde U_{NAP} je napájecí napětí, U_{NAM} je naměřená hodnota a $R_{MĚŘ}$ je měřicí odpor.

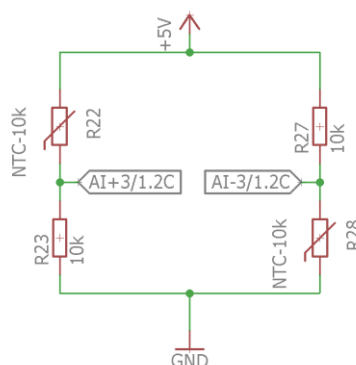
Odpor fotorezistoru potom bude:

$$R = \frac{U_{NAM}}{I} \quad (2.2)$$

2.3.3 NTC rezistor

Je to další představitel řízených rezistorů. NTC rezistor je termistor, blíže pak negastor. Termistor je rezistor, jehož odpor se mění v závislosti na jeho teplotě. NTC rezistor je pak termistor se záporným teplotním součinitelem, což znamená, že se mu s rostoucí teplotou snižuje odpor. [6]

Vybraný typ termistoru NTCC-10K má při teplotě 25°C odpor o nominální hodnotě 10 kΩ s tolerancí 5 %. Závislost odporu na teplotě není lineární, ale lze ji linearizovat okolo pracovního bodu. Pro dvojnásobnou citlivost měření bylo zvoleno zapojení 2 NTC rezistorů do můstku, kde bude měření probíhat pomocí diferenčních analogových vstupů, viz Obr. 21. V případě potřeby lze využít jen jednoho vstupu a měřit napětí na děliči.



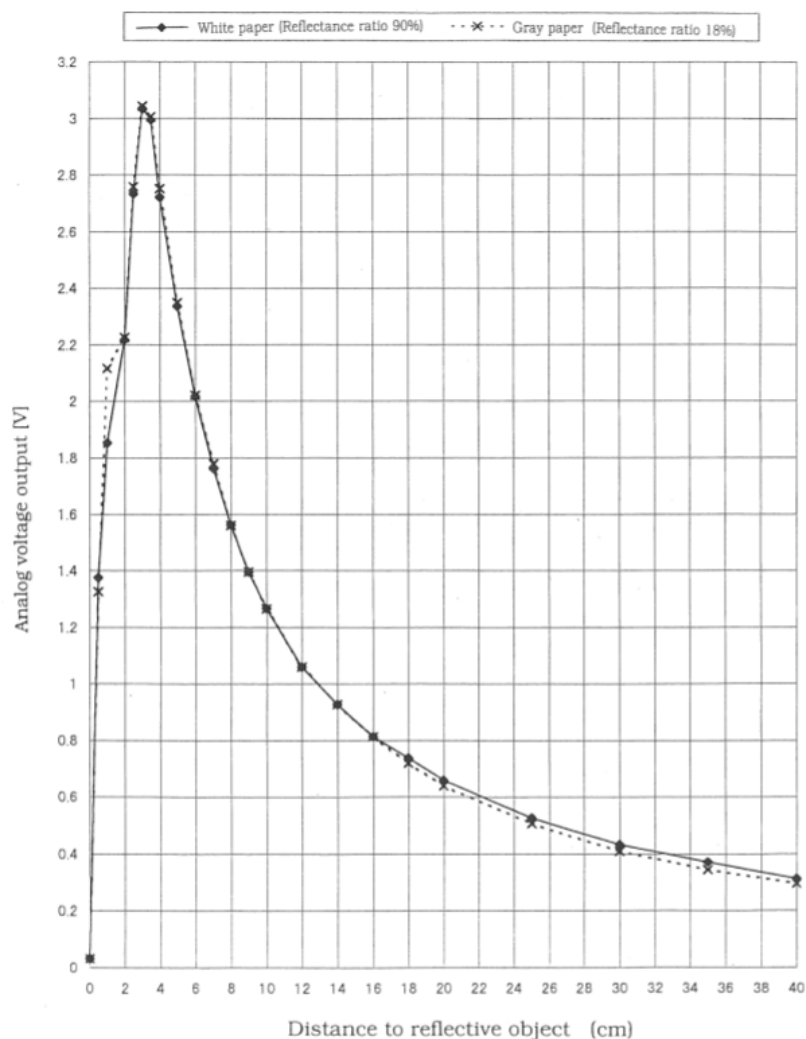
Obr. 21 - Zapojení NTC rezistorů do můstku

2.3.4 IR senzor vzdálenosti

Infračervený senzor vzdálenosti Sharp GP2Y0A41SK0F má pracovní rozsah měření vzdálenosti od 4 do 30 cm. Na výstupu senzoru je analogová hodnota napětí, která se bude měřit pomocí analogového vstupu.

Pro převod změřeného výstupního napětí senzoru vzdálenosti slouží rovnice o tvaru:

$$l = 2,7735 \cdot U^4 - 22,6492 \cdot U^3 + 69,0593 \cdot U^2 - 97,8179 \cdot U + 63,1339 \quad (2.3)$$



Obr. 22 - Závislost výstupního napětí na vzdálenosti [11]

Charakteristika výstupního napětí v závislosti na měřené vzdálenosti je značně nelineární, viz Obr. 22. Pokud dojde k měření vzdálenosti pod nejnižší uvedený rozsah 4 cm, tak může dojít k chybné interpretaci naměřené vzdálenosti a je proto nutné se tohoto vyvarovat. Výstupní napětí také není závislé jen na vzdálenosti měřeného objektu, ale i na jeho barvě (odrazuschopnosti). Pro ideální tvar výstupního napětí je třeba, aby měl měřený objekt bílou barvu.

2.3.5 Filtry

Filtry jsou elektronické obvody, které požadovaným způsobem upravují frekvenční spektrum vstupního signálu. Podle použitých součástek se filtry dělí:

- Pasivní – byly použity součástky R, L a C
- Aktivní – oproti pasivním byl využit nějaký aktivní prvek, nejčastěji operační zesilovač

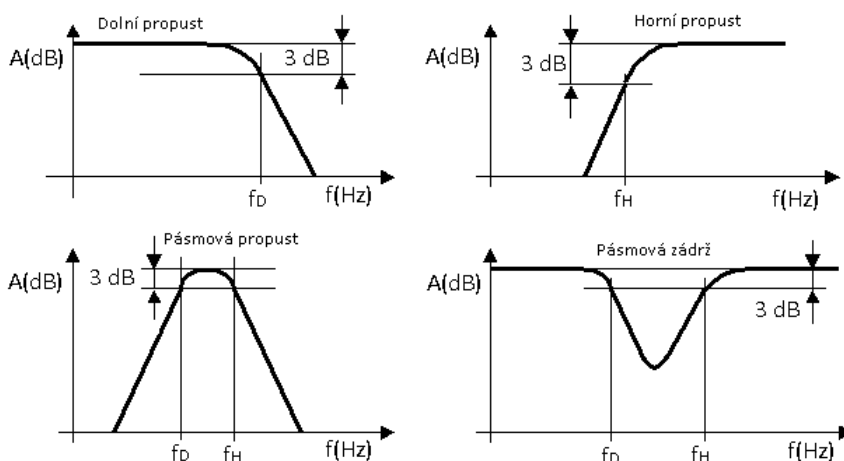
Podle propouštěného frekvenčního pásma se dále filtry dělí:

- Dolnoproustní filtr – propouští dolní frekvence a od mezní frekvence začíná omezovat vyšší frekvence s rostoucím útlumem. Tyto filtry se používají zejména jako antialiasing

filtry pro odstranění rušivých signálů o vyšší frekvenci, než je vzorkovací frekvence měřicího přístroje.

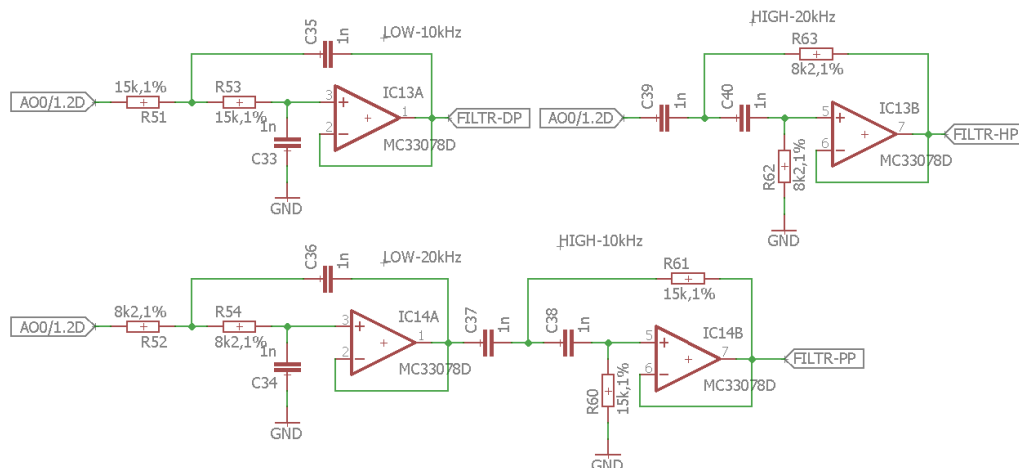
- Hornopropustní filtr – propouští horní frekvence a od mezní frekvence začíná omezovat nižší frekvence s rostoucím útlumem. Tyto filtry se používají například pro odstranění stejnosměrné složky měřeného signálu.
- Pásmová propust' – propouští určité pásmo frekvencí. Tyto filtry se využívají, pokud je třeba měřit jen určitý úsek frekvenčního spektra, často se objevují v telekomunikační technice pro selekci užitečného signálu.
- Pásmová zádrž – zadržuje určité pásmo frekvencí. Příkladem použití je například odstranění síťové frekvence 50 Hz z měřeného signálu.

Na Obr. 23 jsou znázorněny frekvenční charakteristiky jednotlivých typů filtru. Dolní mezní frekvence je označena jako f_D a horní mezní frekvence je f_H .



Obr. 23 - Frekvenční charakteristiky filtrů

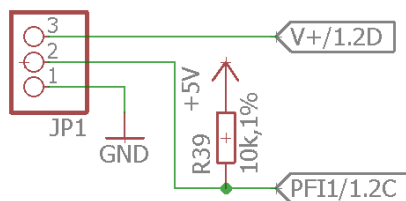
Navržené filtry se skládají ze dvou filtrů DP a dvou filtrů HP, viz Obr. 24. Výstup filtrů je přiveden na 3 přepínače, pomocí nichž lze přivést filtrovaný signál na analogový vstup NI ELVIS II. Pásmová propust je tvořena sériovým spojením filtru DP, jehož mezní frekvence je 20 kHz, a filtru HP, který má mezní frekvenci 10 kHz. Přenášené pásmo je tak v rozmezí 10 – 20 kHz. Pro vytvoření pásmové zádrže se na výstup připojí zároveň filtr DP s mezní frekvencí 10 kHz a filtr HP s mezní frekvencí 20 kHz. Návrh filtrů byl tvořen pomocí online nástroje, dostupného ze zdroje [16].



Obr. 24 - Zapojení aktivních filtrů

2.3.6 Ventilátor s akcelerometrem

Při otáčení ventilátoru dochází k vibracím, které se měří pomocí akcelerometru s analogovým výstupem. Výstup akcelerometru je připojen na analogovém vstupu NI ELVIS II, viz Tab. 13.

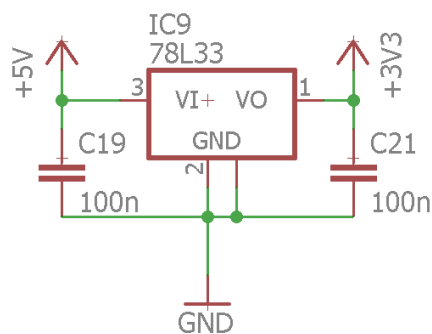


Obr. 25 - Zapojení ventilátoru

Připojení napájení ventilátoru a výstupu Hallovy sondy je na Obr. 25. Kladná napájecí větev ventilátoru (vývod 3) je připojena na regulovatelný napěťový zdroj 0 – 12 V a velikostí nastaveného napětí tak lze v jisté míře regulovat otáčky ventilátoru. Ventilátor obsahuje Hallovu sondu, která je zapojena na čítači pro měření otáček ventilátoru (vývod 2). Hallova sonda je zapojena jako otevřený kolektor a funkci pull-up rezistoru plní připojený rezistor R39.

Použitý akcelerometr ADXL337 vyžaduje napájení maximálně 3,6 V a je tedy třeba snížit napájecí napětí 5 V na požadovanou úroveň. Pro tento případ bylo zvoleno zapojení lineárního stabilizátoru s nízkým úbytkem napětí, viz Obr. 26. Standartní lineární stabilizátory dosahují úbytku minimálně 2 V, což by při použití stabilizátoru na 3,3 V bylo nepřijatelné. Proudový odběr akcelerometru dosahuje maximálně několika stovek μA , výkonový úbytek na tomto stabilizátoru je tak zanedbatelný. [14]

Obvod ADXL337 je 3osý analogový akcelerometr s měřicím rozsahem $\pm 3,6 \text{ g}$. Nominální výstupní napětí akcelerometru je v klidovém stavu 1,5 V. Citlivost měření zrychlení je $300 \text{ mV} \cdot \text{g}^{-1}$. Při vzniku zrychlení o hodnotě 1 g tedy dojde k výchylce výstupního napětí o 300 mV. Maximální frekvence změny měřeného zrychlení může dosahovat frekvence až 1600 Hz. [14]



Obr. 26 - Zapojení stabilizátoru pro akcelerometr

2.4 Čítač/časovač

NI ELVIS II obsahuje 2 čítače/časovače, které lze použít pro čítání hran signálu, počtu pulzů, měření periody/frekvence, ale třeba pro generování pulzů o určité délce, dělení frekvence a podobně.

2.4.1 Rotační enkodér

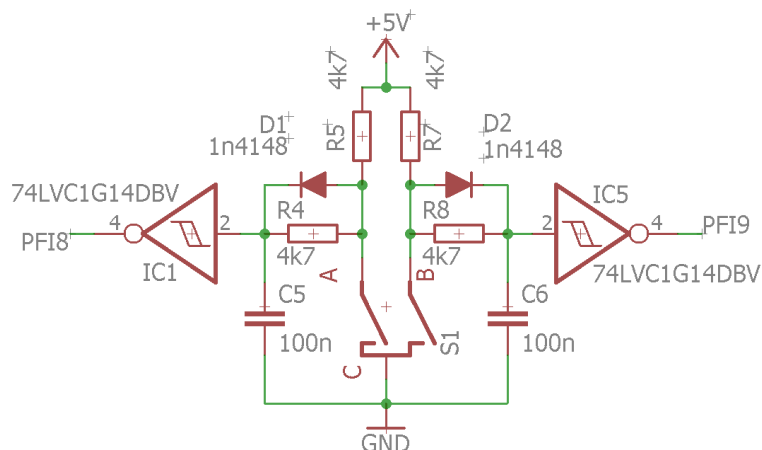
Rotační enkodéry jsou zařízení, která se obecně mohou použít v aplikacích, kde se měří délka, pozice, rychlost, úhel natočení nebo všechny veličiny, které na ně lze převést. Provádějí přeměnu mechanického pohybu na elektrické signály. Běžné rotační enkodéry se dělí na dvě skupiny:

- inkrementální - generují sled pulzů
- absolutní - produkují sled unikátních kódů

Konstrukčně jednodušší inkrementální enkodéry při rotačním pohybu generují pulsy, jejichž určitý počet odpovídá určité vzdálenosti, posuvu nebo natočení a závislost počtu pulzů na časový úsek odpovídá rychlosti. Výstupní signál je tedy relativní. Absolutní pozici musí vyhodnocovat až externí měřicí jednotka. Konstrukčně složitější absolutní enkodéry již generují pro každou pozici natočení konkrétní číselnou hodnotu, tedy v každém momentě je přesně definováno v jakém úhlu natočení se enkodér nachází. [23]

Rotační enkodéry slouží mimo jiné v moderní elektronice jako náhrada potenciometrů. Výhodou rotačních enkodérů oproti potenciometrům je neexistující limitace otáčení rozsahem povoleného snímáního úhlu. Nevýhodou je třeba složitějšího ovládání, čtení hodnot a nutnost uchovávat hodnotu natočení.

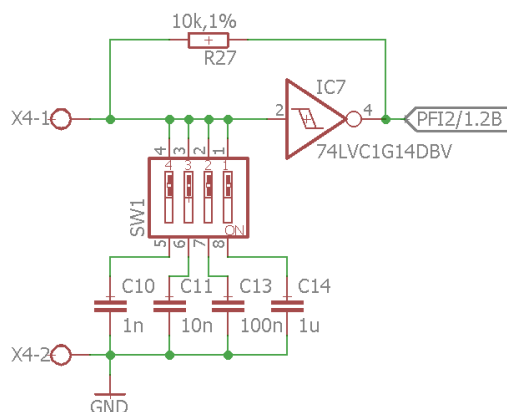
Zvolený rotační inkrementální enkodér EC12E20-24P24C-SW obsahuje 2 mechanické spínače, jejichž signály jsou označovány jako A a B. Tyto dva obdélníkové signály, vznikající rotačním pohybem osy enkodéru, jsou vzájemně posunuty o 90° elektrických. Na jednu otáčku vytvoří rotační enkodér 24 obdélníkových pulzů. [10] Rotační enkodér se zapojuje jako 2 spínače s pull-up rezistorem. Protože jde o mechanický spínač a měření obou signálů probíhá velmi rychle, je třeba opatřit rotační enkodér obvodem proti zákmitům. Ten je tvořen RC článkem, zapojeným jako dolní propust a negací se Schmittovým klopným obvodem, který slouží k pevné definici výstupní logické úrovně, viz Obr. 27.



Obr. 27 - Zapojení rotačního enkodéru s ošetřením záskmitů

2.4.2 Převod kapacity na frekvenci

Pro měření kapacity je možné tuto hodnotu převést na jinou elektrickou veličinu. V tomto případě jde o převod kapacity kondenzátoru na frekvenci obdélníkového signálu. K tomuto je využito RC článku, jenž je se Schmittovým klopným obvodem zapojen jako tzv. relaxační oscilátor. Pro změnu připojeného měřeného kondenzátoru slouží přepínač SW1. Schéma zapojeného relaxačního oscilátoru s přepínačem pro výběr připojené kapacity je na Obr. 28.

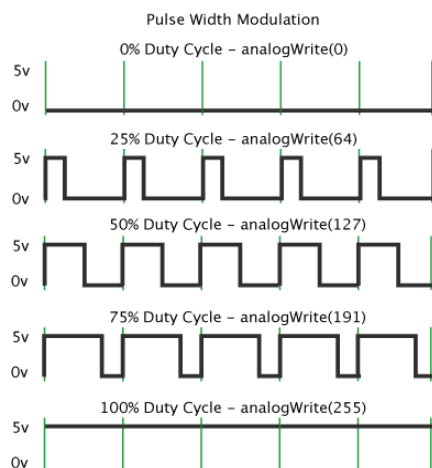


Obr. 28 - Relaxační oscilátor s SKO

Tento obvod funguje tak, že pokud je kondenzátor vybitý, je na vstupu SKO logická nula, protože je to hradlo typu NOT, na výstupu je potom logická jednička. Z výstupu začne přes rezistor téct proud, který začne nabíjet kondenzátor na takovou úroveň napětí, dokud se SKO nepřeklopí. Potom začne docházet k vybíjení kondenzátoru přes rezistor do výstupu, dokud zase nedojde k překlopení stavů. Tento cyklus se neustále opakuje, čímž dochází ke generování obdélníkového průběhu o frekvenci závislé na hodnotách RC článku.

2.4.3 Generování PWM

Pro jednoduchou demonstraci je na PWM výstup připojena LED dioda s rezistorem. Pomocí generování PWM signálu lze potom plynule měnit jas připojené LED diody od 0 % do 100 %. Světlost diody je možné orientačně měřit pomocí fotorezistoru, který je na desce umístěn nedaleko od této LED. Střídá obdélníkového signálu se s různými hodnoty PWM mění, viz Obr. 29.



Obr. 29 – Princip PWM [8]

2.4.4 DC komutátorový motor

Stejnoseměrný komutátorový motor je asynchronní motor, jehož otáčky mohou dosahovat jednotek tisíc otáček za minutu. Tento typ motoru se díky jednoduchému řízení používá v modelářství, jako pohon v průmyslu, ale i v automobilové technice. Řízení otáček těchto motorů probíhá nejčastěji pomocí PWM modulace napájecího napětí. Stejnoseměrný komutátorový motor je tvořen statorem z permanentního magnetu, nebo elektromagnetem a rotorem s budicí cívkou, která je ke zdroji elektrické energie připojena pomocí mechanického komutátoru.

Vytipovaný motor MM10 má velikost napájecího napětí 1,5 až 3 V a bez zátěže vykazuje parametry uvedené v Tab. 9.

Tab. 9 - Parametry DC motoru MM10

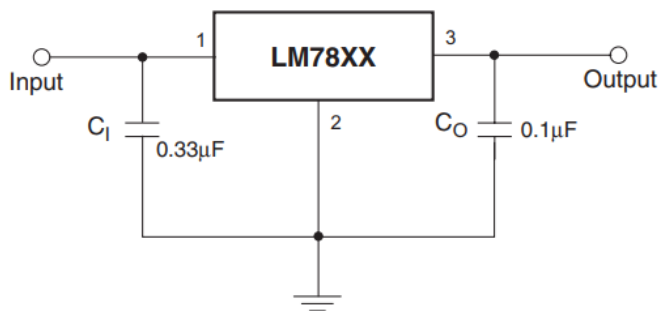
Napájecí napětí	Rychlost otáčení	Proudový odběr
(V)	(ot/m)	(A)
1,5	8 700	0,32
3	16 300	0,38

Jelikož je předepsané napájecí napětí motorku menší, než jaké je poskytnuté od NI ELVIS II, je třeba jej snížit. Jako požadované napětí je zvoleno napětí v rozmezí 1,5 – 1,8 V. Pro účely snížení napájecího napětí na požadovanou úroveň se využívá dvou základních způsobů:

a) Lineární stabilizace napětí

Základem lineární stabilizace napětí jsou součástky s dynamickou voltampérovou charakteristikou jako například Zenerova dioda. Pro stabilizaci výstupního napájecího napětí se díky své jednoduché aplikaci používají tzv. integrované lineární stabilizátory napětí. Jsou to nejčastěji

3vývodové součástky, kde jeden vývod slouží jako vstup, druhý je společná zem a třetí je výstup, viz Obr. 30. Tento způsob stabilizace se používá tam, kde nevádí nízká účinnost stabilizace. Veškeré výkonové ztráty na stabilizačním členu se přeměňují na teplo a je tak třeba takovéto stabilizátory chladit odpovídajícím způsobem. Pokud je potřebný úbytek napětí a procházející proud relativně velký, tedy když ztrátový výkon dosahuje několika desítek procent z celkového příkonu, je vhodnější využít spínaných stabilizátorů.



Obr. 30 - Základní zapojení lineárních stabilizátorů řady LM78XX [17]

Výpočet ztrátového výkonu:

Pro tento výpočet bude uvažováno vstupní napětí 5 V, výstupní napětí 1,8 V a výstupní proud 0,32 A.

$$P_z = (U_{nap} - U_{výst}) \cdot I \quad (2.4)$$

$$P_z = (5 - 1,8) \cdot 0,32 = 1,024 \text{ W}$$

Užitný výkon (výkon na DC motoru):

$$P = U_{výst} \cdot I \quad (2.5)$$

$$P = 1,8 \cdot 0,32 = 0,576 \text{ W}$$

Účinnost stabilizace:

$$\eta = \frac{P}{P + P_z} \cdot 100 \quad (2.6)$$

$$\eta = \frac{0,576}{1,024 + 0,576} \cdot 100 = 36 \%$$

Z daného výsledku je zřejmé, že by takováto stabilizace byla značně ztrátová a využilo by se pouze 36 % z celkového spotřebovaného výkonu. Tento způsob je tedy značně neefektivní.

b) Spínaná stabilizace napětí (DC/DC měniče)

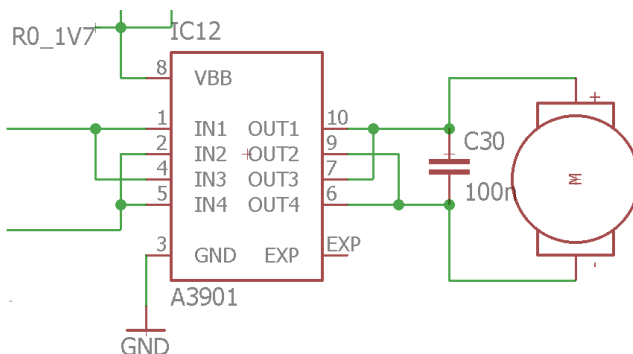
Tam, kde jsou potřeba velké rozdíly mezi vstupním a výstupním napětím a velký proud do zátěže (stovky mA a více), je vhodné využít spínaných měničů napětí. Tyto měniče zpravidla dosahují účinnosti více jak 70 %. Rozlišují se 3 základní typy DC/DC měničů:

1. Snižující (Step-Down) měnič – výstupní napětí je nižší, než vstupní (tento měnič bude třeba)

$$U_{výst} = 1,25 \cdot \left(\frac{33000}{100000} + 1 \right) = 1,6625 \text{ V} \quad (2.9)$$

Zapojení motoru

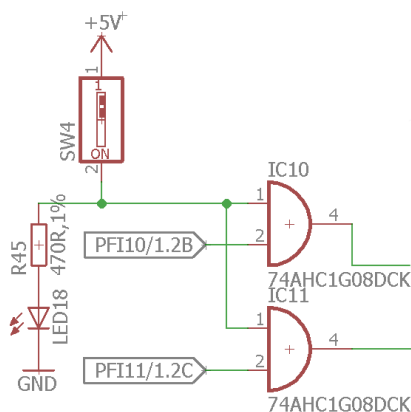
DC motor je připojen přes posilovač výstupů (driver) A3901 k PFI linkám 10 a 11, viz Obr. 32. Posilovač výstupů je použit z důvodu nedostatečného výstupního proudu PFI linek, viz Tab. 4, který se tak zvýšil až na hodnotu 800 mA. PFI linky jsou použity z důvodu možnosti generovat PWM signál a tedy měnit otáčky motoru.



Obr. 32 - Připojení DC motoru k posilovači výstupů

Blokování vstupů

Blokace ovládacích signálů, zasílaných po PFI linkách slouží ke stejnému účelu jako u krokového motoru. Díky ní dochází k zabránění nechtěného otáčení motoru při nesprávném ukončení generovaného PWM signálu, případně nesprávného nastavení klidového stavu PFI linek. Blokace vstupů je prováděna pomocí dvou dvouvstupových hradel AND. Na jeden vstup hradla je přiveden výstup ze spínače a na druhý je připojena PFI linka z NI ELVIS II, viz Obr. 33. Je to obdobný způsob blokace, který byl použit u krokového motoru.



Obr. 33 - Schéma blokání vstupů pro ovládání DC motoru

2.5 Sériová linka RS-232

Sériová linka slouží ke komunikaci mezi PC a MCU, propojení je tedy přímo mezi prototypovou deskou a PC bez účasti NI ELVIS II. Pomocí této komunikace dochází k přenosu ovládacích příkazů z PC do MCU, naměřených dat a odpovědí na příkazy z MCU do PC. Sériová linka komunikuje rychlostí 9600 Bd, data se zasílají po 8 bitech bez parity. Každý příkaz, nebo zasílaný text musí být ukončen ukončovacími znaky <CR><LF> (novým řádkem) Carriage Return (ASCII kód 0x0D) a Line Feed (ASCII kód 0x0A).

Pokud dojde k nesprávně zaslánému příkazu, tak MCU odpovídá chybovým kódem:

„ERR<CR><LF>“

2.5.1 Ovládání LCD z PC

Tato úloha slouží k zobrazování uživatelského textu na přítomném LCD displeji. Zobrazovaný text může například představovat popis a hodnoty naměřených dat. Za použití textových příkazů, zasílaných z PC pomocí sériové linky, dochází k zobrazování textů na displeji, případně k mazání displeje.

Komunikační protokol

Vypisování na LCD probíhá prostým zasláním textu po sériové lince. Text je třeba zasílat bez diakritiky, jinak dojde k nesprávnému zobrazení znaků.

Příklad:

„Ukazkovy text<CR><LF>“

Každý další text se vypisuje za již zobrazený text, dokud nedojde místo na displeji, které čítá 80 znaků. Poté již k vypisování docházet nebude. Pro vymazání celého LCD displeje se zašle text ve znění:

„DEL<CR><LF>“

Tento textový příkaz by se neměl objevovat v zobrazovaném textu.

MCU bude odpovídat:

„OK<CR><LF>“

2.5.2 Ovládání RGB LED

Zde se pomocí PC a sériové linky ovládají 3 RGB LED diody se zabudovaným řídicím obvodem pro změnu zobrazovaných barev. Tyto LED diody obsahují jedno-vodičovou sběrnici, po které komunikují s řídicím MCU. Tuto komunikaci obstarává MCU, protože jde o časově deterministickou a relativně rychlou komunikaci, kterou by NI ELVIS II nedokázal uskutečnit z důvodu absence HW časování digitálních linek.

Komunikační protokol

Pro nastavení barvy LED diody se zvolí nejprve číslo LED, poté hodnota červené, zelené a nakonec modré složky. Hodnoty barev mohou nabývat hodnot 0 – 255.

„RGB:X,X,X,X<CR><LF>“

MCU odpoví následovně:

„OK<CR><LF>“

Úloha dále obsahuje tzv. demonstrační mód, sloužící k ukázce různých barevných variací LED diod. Tento mód je autonomní a k jeho ukončení dojde pomocí stisku tlačítka zpět.

2.5.3 Digitální teploměr

Jde o oblíbené digitální teplotní čidlo DS18B25, které na jedno-vodičové sběrnici poskytuje digitální informaci o měřené teplotě. Toto čidlo je možné použít jako referenční snímač teploty při měření s NTC rezistory. Naměřená teplota je také zobrazena na LCD displeji.

Komunikační protokol

Pro získání aktuální hodnoty teploty, změřené tímto čidlem, se po sériové lince zašle textový příkaz ve tvaru:

„TEMP?<CR><LF>“

MCU poté odpoví v následujícím tvaru:

„OK;XX,X°C“

2.5.4 Řízený napěťový zdroj

Tato aplikace slouží k nastavování výstupního napětí od -9 do 9V. Toto napětí je možné měřit na analogovém vstupu AI7. Nastavování napětí je s rozlišením 0,1 V.

Komunikační protokol

Požadavek na nastavení kýženého napětí je ve tvaru:

„SET:±X,X“

MCU poté odpoví ve tvaru:

„OK<CR><LF>“

Řízený napěťový zdroj lze zapnout i v manuálním režimu, kde se požadovaná hodnota napětí mění pomocí tlačítek nahoru a dolů.

2.5.5 Simulace měřicího přístroje

V této aplikaci se simuluje měřicí přístroj, který představuje digitální multimetr. Přístroj schopen měřit následující hodnoty:

- DC a AC hodnotu napětí
- DC a AC hodnotu proudu

Pro komunikaci je využito SCPI příkazů. SCPI je textově založený jazyk pro komunikaci s měřicími přístroji.

Veškeré měřené hodnoty jsou pouze simulované uvnitř MCU a mají definovaný sinusový průběh s přičteným šumovým napětím.

Komunikační protokol

Pro identifikaci připojeného měřicího přístroje slouží příkaz ve tvaru:

„*IDN?<CR><LF>“

Zařízení po přijetí požadavku na identifikaci odpoví v následujícím tvaru:

„Simulated_DMM<CR><LF>“

Požadavky pro měření napětí a proudu jsou tyto:

1. Měření DC napětí

„MEAS:VOLT:DC?<CR><LF>“

2. Měření AC napětí

„MEAS:VOLT:AC?<CR><LF>“

3. Měření DC proudu

„MEAS:CURR:DC?<CR><LF>“

4. Měření AC proudu

„MEAS:CURR:AC?<CR><LF>“

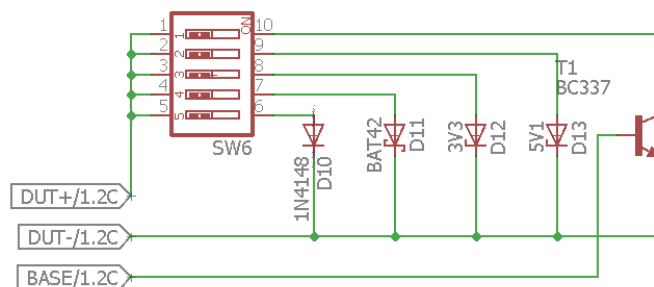
Simulovaný digitální multimetr odpovídá na zaslané požadavky naměřenou hodnotou v základních jednotkách, tedy ve voltech, nebo ampérech:

„X,XXX<CR><LF>“

2.6 Speciální funkce NI ELVIS II

2.6.1 Měření voltampérových charakteristik

Zařízení NI ELVIS II umožňuje pomocí speciálních vývodů DUT+ a DUT- měřit dvou vodičově voltampérové charakteristiky. Pro měření tranzistoru je navíc vývod BASE, který slouží k excitaci báze tranzistoru. Pro měření voltampérových charakteristik je k vývodům připojeno několik diod a tranzistor, mezi nimiž se volí pomocí připojených přepínačů, viz Obr. 34.



Obr. 34 - Připojení součástek pro měření voltampérových charakteristik

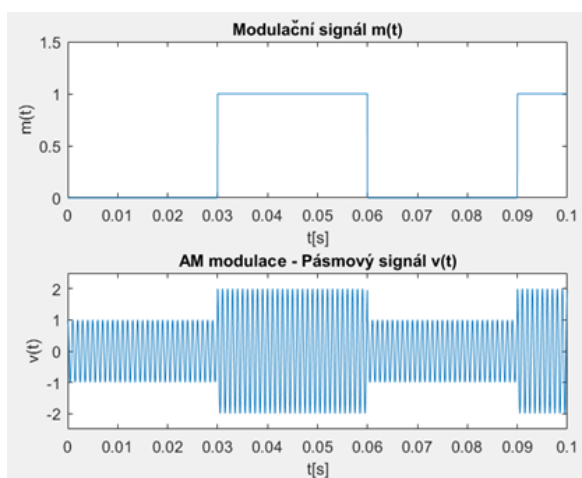
Pro různé tvary voltampérových charakteristik je vybrána jedna usměrňovací dioda, Schotkyho dioda, 2 Zenerovy diody o zenerově napětí 3,3 V a 5,1 V a nakonec jeden NPN tranzistor.

2.6.2 Modulace signálu

Zařízení NI ELVIS II obsahuje hardwarový funkční generátor, jehož signál je možné modulovat pomocí 2 řídicích vývodů AM a FM. Pro jednodušší dekódování modulovaného signálu studenty, kteří budou prototypovou desku používat, se tyto vstupy budou budit digitálním signálem, kdy je změna mezi logickou nulou a jedničkou nejzřetelnější. Tyto vstupy budou připojeny k MCU, který bude generovat binární kód použitý pro modulaci. Výsledný modulovaný signál pak student užívající prototypovou desku může demodulovat zpět do binárního tvaru.

Amplitudová modulace (AM)

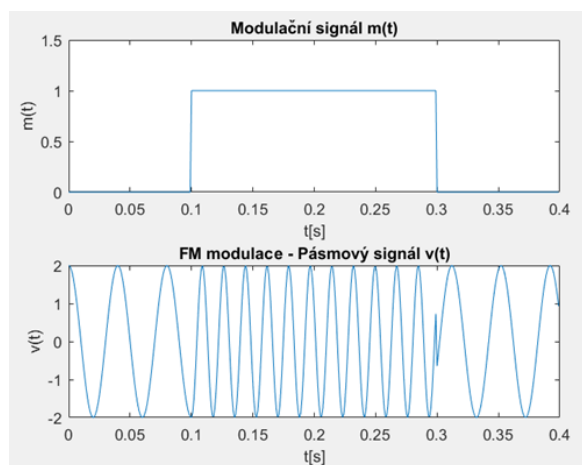
Při této modulaci dochází ke změně amplitudy nosného signálu, jejíž velikost je závislá na vstupní hodnotě signálu. Frekvence výstupního signálu se nemění. Rozdíl mezi výstupním signálem při logické nule a logické jedničce je dobře patrný na Obr. 35.



Obr. 35 - Amplitudová modulace

Frekvenční modulace (FM)

U tohoto typu modulace zůstává zachována amplituda výstupního signálu, mění se ovšem jeho frekvence. Na Obr. 36 lze pozorovat tuto skokovou změnu frekvence výstupního signálu při změně logických hodnot na vstupu.



Obr. 36 - Frekvenční modulace

2.7 Převodník U/f, U/PWM

U těchto úloh se pomocí MCU měří napětí na analogovém výstupu AO1 a jeho hodnota je převedena na digitální obdélníkový signál o příslušné frekvenci, nebo střídě, měřené na PFI lince 14. Tento způsob převodu analogové hodnoty na digitální se v elektrotechnice používá tam, kde není k dispozici měření analogové hodnoty pomocí AD převodníku. Převodem analogové hodnoty na digitální také dochází k eliminaci rušivých signálů, které by mohli vznikat na vodičích, přenášejících analogové hodnoty. Při digitalizaci ovšem dochází ke zmenšení přesnosti měřené informace z důvodu kvantizace signálu a při vzorkování dochází k převodu spojitého signálu na nespojitý, což se projevuje další ztrátou informace.

1. Frekvence závislá na vstupním napětí

Tato frekvence se v závislosti na napětí pohybuje od 1 kHz do 21 kHz. Vztah mezi napětím a frekvencí je ve tvaru:

$$f = U \cdot 1\,000 + 11\,000 \quad (2.10)$$

Výsledné napětí se tedy vypočte:

$$U = \frac{f - 11\,000}{1000} \quad (2.11)$$

2. PWM modulace závislá na vstupním napětí

Hodnota střídý v závislosti na vstupním napětí nabývá hodnot od 10 % do 90 %. Hodnota frekvence obdélníkového signálu je 1 kHz. Vztah mezi napětím a střídou PWM je ve tvaru:

$$PWM = (U + 10) \cdot 4 + 10 \quad (2.12)$$

Přepočet na napětí poté bude:

$$U = \frac{PWM - 10}{4} - 10 \quad (2.13)$$

3 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér je na desce přítomen z důvodu rozšíření desky o řadu dalších úloh. Podle zvoleného programu může MCU měnit vlastnosti analogového vstupního signálu, které promítne na svůj analogový, nebo digitální výstup. Tímto způsobem může MCU simulovat chyby měřicích přístrojů, různé elektronické součástky, obvody, děje. MCU slouží jako prostředník mezi některými připojenými periferiemi (LCD displej, RGB LED diody, digitální teploměr) a počítačem. Pro ovládání těchto periferií a některých na MCU simulovaných HW prostředků slouží sériová linka, jejíž komunikační protokol a popis úloh je uveden v kapitole 2.5.

Pro čtení analogových hodnot, musí MCU obsahovat AD převodník, běžně mají integrované AD převodníky rozlišení 10 bitů a více. K zápisu analogových hodnot na výstup je zapotřebí DA převodníku. V MCU integrovaný DA převodník není příliš obvyklý a je třeba použít externí obvod. Komunikace s DA převodníkem je zprostředkována pomocí digitální sběrnice (v tomto případě I²C). K programování MCU musí být přítomné příslušné rozhraní (SPI, JTAG). MCU musí obsahovat dostatek digitálních linek pro práci s tlačítky, LCD displejem, RGB LED diodami, digitálním teploměrem, výstupy modulačních signálů a digitálním výstupem pro NI ELVIS II.

3.1 Volba mikrokontroléru

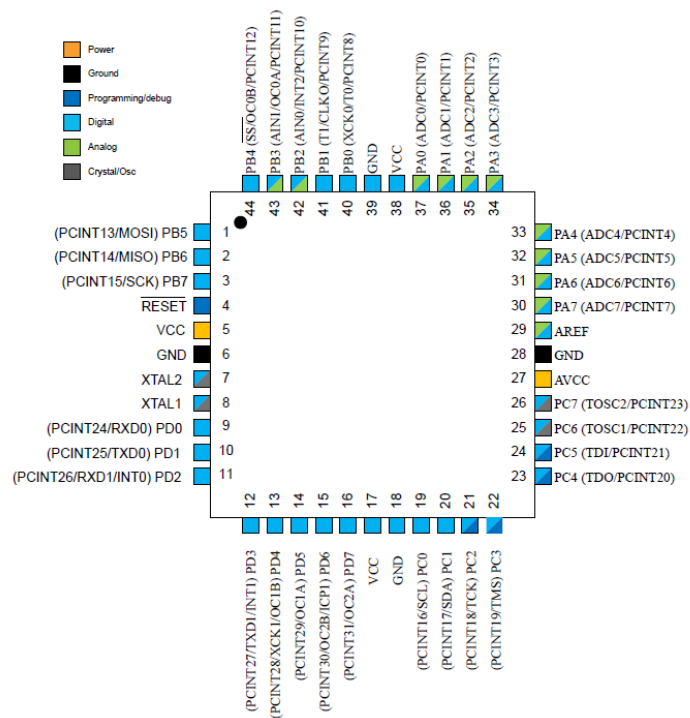
Na základě potřebného výkonu, výrobci, počtu vývodů, dostupnosti a ceně byl vybrán mikrokontrolér ATmega644PA v pouzdře TQFP44. Je to osmibitový MCU s pracovní frekvencí až 20 MHz, pro tuto frekvenci je třeba napájecí napětí o velikosti 4,5 – 5,5 V. Popis jednotlivých vývodů s vyobrazením pouzdra TQFP44 je na Obr. 37. Jeho paměti jsou o následujících velikostech:

- 64 kB flash paměti
- 2 kB paměti EEPROM
- 4 kB paměti SRAM

Mikrokontrolér obsahuje 32 programovatelných vstupně/výstupních linek po čtyřech portech:

- Port A – slouží jako analogové vstupy pro ADC
- Port B – obsahuje SPI rozhraní
- Port C – obsahuje I²C a JTAG rozhraní
- Port D – obsahuje USART rozhraní

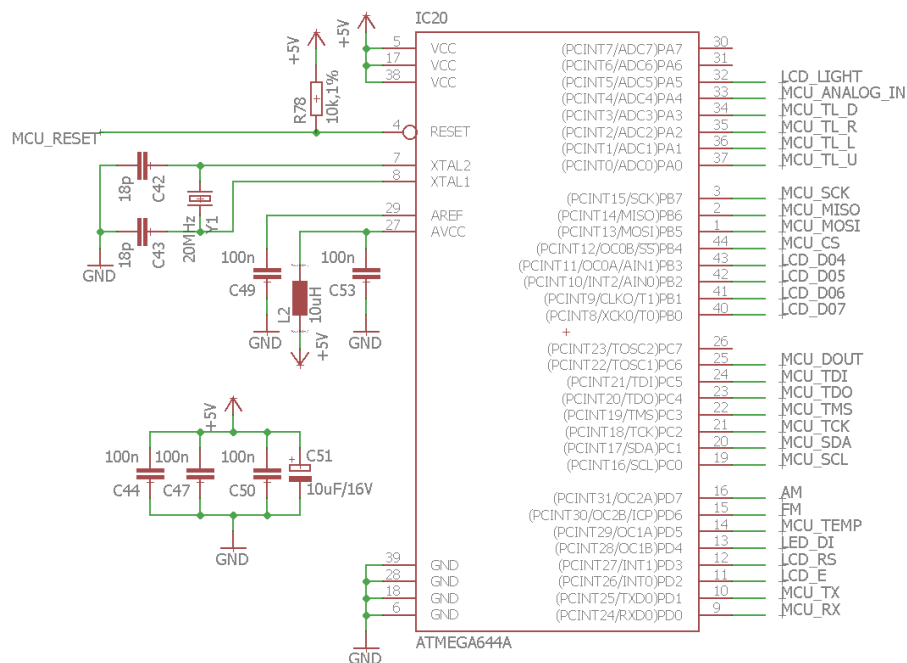
Každý z těchto portů je osmibitový, obousměrný port s interními pull-up rezistory, všechny linky jsou tak třístavové.



Obr. 37 - ATmega644PA v pouzdře TQFP44 [15]

Na Obr. 38 se nachází zapojení napájení MCU s krystalem, který určuje jeho pracovní frekvenci (použit 20 MHz), blokovacími kondenzátory a zdrojem napět'ové reference. Napět'ová reference je brána z napájecího napětí 5 V, které je připojeno přes sériově zapojenou tlumivku. Na vývodu pro připojení napět'ové reference je dále připojen paralelně kondenzátor (druhý pól připojen na zem). Tato kombinace je filtr dolní propust a zaručuje potlačení šumu v napájecím napětí. Rezistor

R78 slouží jako pull-up rezistor pro resetovací vstup, který je takto v neaktivním režimu. Pokud dojde k připojení vstupu k zemi, dojde k resetu MCU.



Obr. 38 - Zapojení MCU

V

Tab. 10 je uvedeno připojení jednotlivých vývodů MCU s periferiemi a zařízením NI ELVIS II. Vývody MCU, označené jako JTAG, nebo SPI, jsou využity pro programování.

Tab. 10 - Zapojení vývodů MCU

Vývod	Zapojení	Vývod	Zapojení
PA0	Tlačítko nahoru	PC0	I ² C SCL
PA1	Tlačítko vlevo	PC1	I ² C SDA
PA2	Tlačítko vpravo	PC2	JTAG TCK
PA3	Tlačítko dolů	PC3	JTAG TMS
PA4	Analogový vstup	PC4	JTAG TDO
PA5	Podsvícení LCD	PC5	JTAG TDI
PA6	-	PC6	PFI14
PA7	-	PC7	-
PB0	LCD datová linka 7	PD0	USART RX
PB1	LCD datová linka 6	PD1	USART TX
PB2	LCD datová linka 5	PD2	LCD E
PB3	LCD datová linka 4	PD3	LCD RS
PB4	-	PD4	RGB LED
PB5	SPI MOSI	PD5	DS18B20
PB6	SPI MISO	PD6	FM
PB7	SPI SCK	PD7	AM

Propojení NI ELVIS II a MCU je provedeno pomocí tří signálů:

1. digitální linka PFI14 pro digitální komunikaci
2. analogová výstupní linka AO1
3. analogová vstupní linka AI7

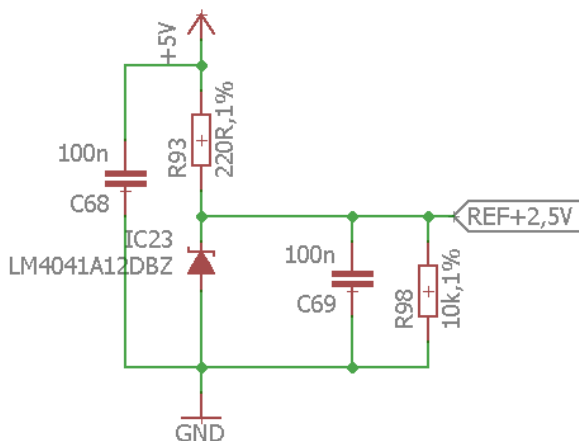
Z důvodu rozdílných napěťových úrovní, je třeba analogové signály mezi MCU a NI ELVIS II upravit na vhodnou úroveň. NI ELVIS II obsahuje analogové vstupy a výstupy s maximálním bipolárním napěťovým rozsahem ± 10 V, zatímco vstup MCU je schopen rozlišovat pouze unipolární napětí 0 – 5 V a analogový výstup neobsahuje. Obvod vybraný pro rozšíření MCU o analogový výstup komunikuje po sběrnici I²C a je schopný na výstupu pracovat s napětím 0 – 5 V. Pro úpravy napěťových rozsahů se využije operačních zesilovačů a matematických operací s nimi.

3.1.1 Úprava bipolárního napětí na unipolární

Vstupního napěťový rozsah AD převodníku MCU je unipolární. Výstupního napěťový rozsah NI ELVIS II je bipolární. Pro měření celého napěťového rozsah NI ELVIS II pomocí MCU je třeba bipolární hodnoty převést na unipolární.

Pro převod napětí ± 10 V na 0 – 5 V je nutné toto napětí snížit na rozsah $\pm 2,5$ V a poté posunutím o +2,5 V se napětí upraví na úroveň 0 – 5 V.

Nejprve je třeba vytvořit zdroj napěťové reference 2,5 V. Na Obr. 39 je vyobrazeno schéma zapojení napěťové reference LM4041. Tento obvod je zapojen jako napěťový dělič, na jehož výstup je referenční napětí 2,5 V.



Obr. 39 - Napěťová reference 2,5 V

Zmenšení vstupního napětí na čtvrtinu a přičtení referenčního napětí 2,5 V lze spojit do jednoho součtového invertujícího zapojení s operačním zesilovačem.

Hodnota zpětnovazebního odporu byla zvolena 100 k Ω . Při napěťovém přenosu -1 pro referenci bude hodnota jeho vstupního odporu taktéž 100 k Ω .

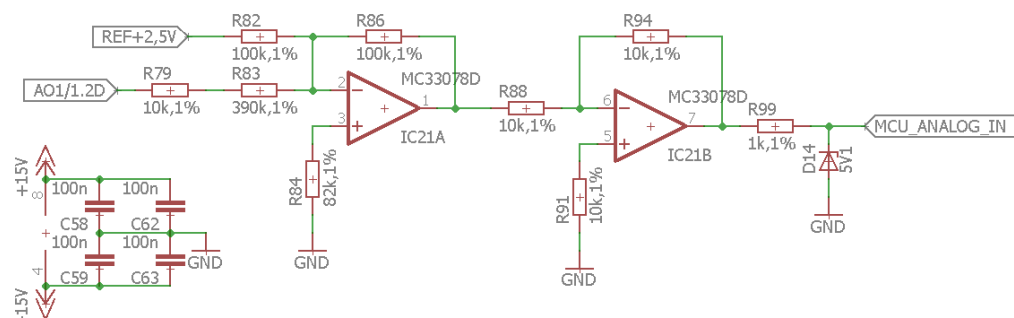
Vstupní odpor pro vstupní napětí:

$$A_U = -\frac{R_z}{R_v} \quad (3.1)$$

$$A_U = -\frac{1}{4} = -\frac{100\,000}{400\,000}$$

Hodnota vstupního odporu je 400 kΩ.

Protože však jde o invertující zapojení, je třeba výstupní, fázově obrácené, napětí otočit o 180°. Toho se docílí dalším invertujícím zesilovačem se zesílením -1 [4].

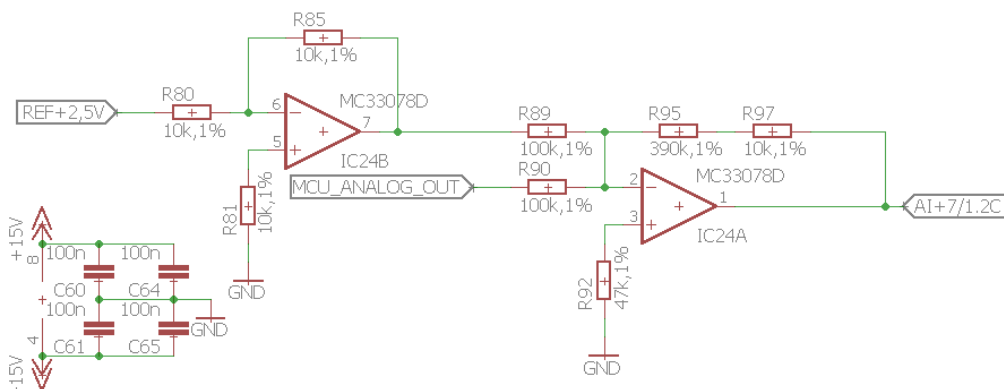


Obr. 40 - Úprava bipolárního rozsahu na unipolární

3.1.2 Úprava unipolárního napětí na bipolární

Zde je opačný problém než u předchozího bodu. Výstupní napětí DA převodníku, připojeného k MCU dosahuje unipolárních hodnot 0 – 5 V. Maximální rozsah analogových vstupů NI ELVIS II je bipolární a může nabývat hodnot v rozsahu ±10 V.

Unipolární napětí 0 – 5 V je třeba posunout o -2,5 V a poté čtyřnásobně zvětšit. Napětí 2,5 V je třeba převrátit na -2,5 V, toho se docílí inverujícím zesilovačem se zesílením -1. Výstup z DA převodníku a napětí -2,5 V se sečte v součtovém zesilovači se zesílením -4. Pro zesílení -4 jsou hodnoty zpětnovazebního odporu 400 kΩ a vstupních odporů 100 kΩ. Zde je výstupní napětí s opačnou fází, kterou by bylo možné otočit o 180° dalším invertujícím operačním zesilovačem, ale lze také provést softwarovou korekci.



Obr. 41 - Úprava unipolárního rozsahu na bipolární

3.2 Návrh textového menu a navigace obsluhy úloh s MCU

Jako zobrazovač byl vybrán alfanumerický LCD displej s řadičem ST7066U, displej má velikost 20x4 znaků. Existuje řada LCD displejů s ekvivalentními řadiči a stejném rozložení vývodů. Tyto LCD displeje je možné mezi sebou zaměňovat, dokonce nemusí být stejná velikost zobrazovače (bylo by však třeba upravit řídicí kód). Ovládání a pohyb v menu je řešeno pomocí čtveřice tlačítek. Tlačítka jsou směrová a jejich význam je:

- tlačítko nahoru – pohyb v menu směrem nahoru, zvyšování nastavovaných hodnot
- tlačítko dolů – pohyb v menu směrem dolů, snižování nastavovaných hodnot
- tlačítko vlevo – pohyb v menu zpět, ukončení běžícího programu
- tlačítko vpravo – pohyb menu vpřed, potvrzení výběru, spuštění vybraného programu

Struktura textového menu:

- 1 Deformace signálu
 - 1 Zpoždění signálu
 - 2 Změna fáze o 180°
 - 3 Hystereze signálu
 - 4 Limitace signálu
- 2 Chyby měřicích přístrojů
 - 1 Aditivní chyba
 - 2 Multiplikativní chyba
 - 3 Chyba přístroje 1
 - 4 Chyba přístroje 2
- 3 Řízený napěťový zdroj
 - 1 Manuální režim
 - 2 Ovládání z PC
- 4 Modulace signálu
 - 1 Amplitudová modulace
 - 2 Frekvenční modulace
- 5 RGB LED
 - 1 Demo mód
 - 2 Ovládání z PC
- 6 Ovládání LCD z PC
- 7 Digitální teploměr
- 8 Simulace měřicího přístroje
- 9 Převodník napětí
 - 1 Převod U na f
 - 2 Převod U na PWM

Na Tab. 11 je výsledná podoba textového menu na LCD displeji. V jednom okamžiku mohou být na displeji vykresleny maximálně 4 řádky.

Tab. 11 - Vzhled hlavního textového menu

1	D	e	f	o	r	m	a	c	e	s	i	g	n	a	l	u	
2	C	h	y	b	y	m	e	r	.	p	r	i	s	t	.		
3	R	i	z	e	n	y	n	a	p	.	z	d	r	o	j		
4	M	o	d	u	l	a	c	e	s	i	g	n	a	l	u		
5	R	G	B	L	E	D											
6	O	v	l	a	d	a	n	i	L	C	D	z	P	C			
7	D	i	g	.	t	e	p	l	o	m	e	r					
8	S	i	m	.	m	e	r	.	p	r	i	s	t	r	.		
9	P	r	e	v	o	d	n	i	k	n	a	p	e	t	i		

3.3 HW simulovaný pomocí MCU

Úlohy, které jsou obsaženy v programu MCU a používají k ovládání sériovou linku jsou popsány v kapitole 2.5. Úloha modulace signálu je popsána v kapitole 2.6.2 a převodník analogových hodnot napětí na digitální signály je popsán v kapitole 2.7. Zde jsou uvedeny úlohy, k jejichž spouštění je použito pouze ovládacích tlačítek. Tyto úlohy jsou tedy předpřipraveny k použití bez nutnosti nastavovat jakékoliv parametry. Na analogový výstup AO1 je zasílán signál, který je v MCU změřen, následně upraven a odeslán na analogový vstup AI7.

3.3.1 Deformace signálu

V těchto úlohách dochází k deformaci měřeného analogového signálu. Tímto způsobem jsou simulovány různé jevy, ke kterým běžně dochází při průběhu signálu elektrickým obvodem. Připraveny jsou celkem 4 úlohy:

- Zpoždění signálu – signál je zpožděn o určitou časovou konstantu, po jejím zjištění lze jednoduše získat zpět původní signál se stejnými časovými parametry.
- Změna fáze o 180° – přivedený signál se fázově převrátí, neboli dojde k otočení signálu o 180° elektrických.
- Hystereze signálu – výstupní napětí závisí na okamžitém a předchozím stavu vstupního signálu.
- Limitace signálu – od určité napěťové hladiny dochází k limitaci signálu. Tato limitace simuluje saturaci polovodičových součástek.

3.3.2 Chyby měřicích přístrojů

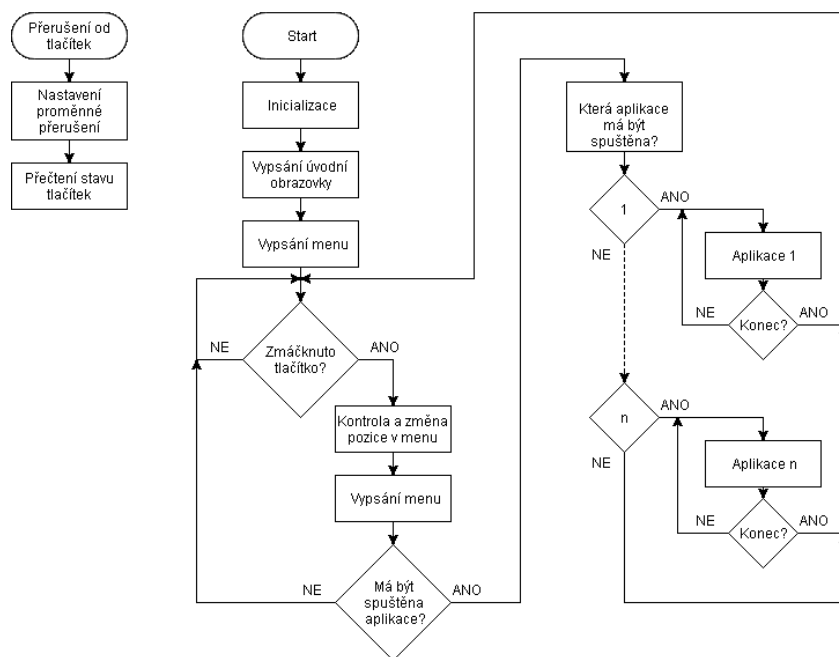
Zde dochází k simulaci některých chyb měřicích přístrojů. Po zjištění hodnoty chyby lze rekonstruovat správnou změřenou hodnotu.

- Aditivní chyba – tato chyba se projevuje lineárním posunem naměřené od skutečné hodnoty.
- Multiplikativní chyba – z důvodu této chyby dochází k odchylce mezi naměřenou a skutečnou hodnotou, která se zvětšuje s rostoucí hodnotou měřeného signálu.
- Chyba měřicího přístroje 1 a 2 – tyto chyby jsou vzniklé nelinearitou pomyslného měřicího přístroje a je tak třeba zjistit jejich průběh pomocí přechodové charakteristiky. Z té již lze sestavit korekční křivku, s jejíž pomocí lze naměřené hodnoty linearizovat.

- Řízení DA převodníku
- Čítače pro generování obdélníkových průběhů
- Čtení z AD převodníku
- Obsluha přerušení tlačítek
- Ovládání RGB LED diod
- Obsluha UART
- Vypisování menu na displej
- Jednotlivé aplikace
- Definice vstupů a výstupů
- Hlavní program MCU
- Texty pro vypisování na displeji

Veškeré texty byly z důvodu velkého objemu dat uloženy do paměti flash, která je ze všech přítomných pamětí MCU nejobjemnější a ukládané texty tak představují zanedbatelný zlomek podílu na využití paměti.

Na následujícím obrázku Obr. 43 je znázorněn zjednodušený vývojový diagram programu běžícího na řídicím MCU. Po startu MCU dojde k inicializaci vstupně/výstupních portů a připojených periférií. Dále se na 3 vteřiny vypíše úvodní obrazovka s názvem desky, svým jménem a rokem odevzdání diplomové práce. V dalším kroku se na displeji zobrazí horní 4 prvky hlavního textového menu. Program se dostane do smyčky, ve které kontroluje, zda nedošlo ke stisknutí některého z ovládacích tlačítek. Pokud dojde ke stisku tlačítka, dojde ke kontrole současné pozice v menu (indikovaná symbolem →) a po splnění kontrolní podmínky dojde k posunu v menu, nebo v případě nesplnění k žádné akci. Následně se při změně pozice přepíše zobrazovaná obrazovka. Poslední částí je kontrola toho, zda má být spuštěn některý z podprogramů. Pokud ano, tak tento podprogram běží ve smyčce do té doby, než dojde ke stisknutí tlačítka pro návrat zpět.



Obr. 43 - Vývojový diagram programu MCU

Pro práci s textovým menu byla vytvořena struktura, obsahující proměnné s těmito informacemi:

- aktuální a předchozí pozice v hlavním menu
- aktuální a předchozí pozice v menu 2. úrovně
- aktuální a předchozí úroveň menu
- zobrazovací offset

Díky těmto informacím dochází v programu ke správnému zobrazování textového menu na LCD displeji a ke spouštění podprogramů pro simulaci periférií. LCD displej obsahuje 4 řádky, je tak možné v jednom okamžiku zobrazit pouze 4 položky menu, ale hlavní menu čítá celkem 9 položek. Z tohoto důvodu je přítomna informace o zobrazovacím offsetu, která určuje, od které položky je hlavní menu vypisováno na displej. Při pohybu v hlavním menu je vytvořen efekt rolování obrazovky, tedy dochází k posunu menu po „njetí“ na okraj.

4 Návrh desky plošných spojů (DPS)

4.1 Druhy DPS, výrobní třídy, materiály

Mechanické vlastnosti DPS jsou nejvíce závislé na použitém materiálu ze kterého je vyrobena. Nejčastěji se na výrobu DPS používají fenolické, nebo epoxidové pryskyřice v kombinaci s papírem, nebo skleněnými vlákny. Plošné spoje se dělí z hlediska počtu vrstev a stran na tyto typy:

- Jednostranné
- Oboustranné
- Vícevrstvé

Jednostranné i oboustranné desky je možné bez větších problémů vyrábět v amatérských podmínkách. Vícevrstvé desky z důvodu složitosti tvorby vodivých prokůvů a lepení vrstev na sebe není možné v amatérských podmínkách v přijatelné kvalitě vyrobit. [2]

Při výrobě DPS je třeba dodržovat směrnici RoHS, která zakazuje používání a stanovuje maximální limity toxických látek jako například: Kadmium, Olovo, Rtuť, Šestimocný chrom, Polybromové Bifenylly, Polybromové Bifenyl Etery.

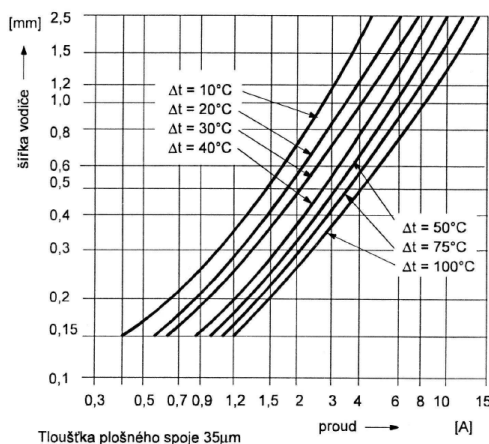
Pro tvorbu vodivých cest se používá měděná fólie o vysoké čistotě 99 %. Pro DPS se využívají tyto tloušťky měděné fólie:

- 18 μm – používá se pro konstrukci jemných spojů
- 35 μm – používá se pro běžné aplikace
- 70 a 105 μm – aplikace s velkou proudovou zatížitelností, odolné vůči otřesům

Proudová zatížitelnost plošného spoje

Proudová zatížitelnost plošného spoje je přibližně 5x větší než u klasických vodičů z důvodu lepšího odvodu tepla přes laminát desky. Teplota plošného spoje by neměla překročit 80 °C, aby vlivem teploty nedocházelo ke změnám mechanických vlastností desky.

Z grafu na Obr. 44 je vidět velikost oteplení v závislosti na tloušťce spoje a proudu jím protékajícím. Tento graf je pro jednovrstvou desku s měděnou fólií o tloušťce 35 μm . Pokud bude například plošným spojem o tloušťce 1 mm protékat přibližně 2,7 A, dojde k zahřátí měděné fólie o 10 °C.

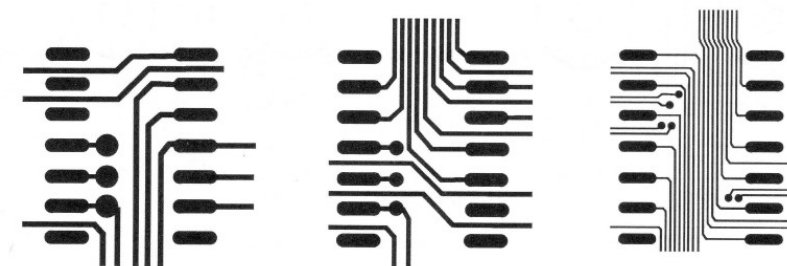


Obr. 44 - Proudová zatížitelnost plošných spojů [2]

Konstrukční třídy pro návrh plošných spojů

V současné době se obrazce DPS dělí do 3 kategorií, viz Obr. 45. Dělení spočívá v použitých SMD součástkách, jejich rozteči vývodů a množství vodičů mezi ploškami.

- Standard – vodič a mezera mají velikost 200 μm
- Jemná rozteč – vodič a mezera mají velikost 180 μm
- Ultrajemná rozteč – vodič a mezera mají velikost 90 μm



Obr. 45 - Kresby plošných spojů, zleva - standard, jemná rozteč, ultrajemná rozteč [2]

Elektrické zásady návrhu s ohledem na EMC [7]

Rušení se šíří dvěma základními způsoby:

- Po vedení ve formě rušivých proudů. Rušení vzniká galvanickou, kapacitní, nebo indukční vazbou. Lze mu zabránit filtry, nebo galvanickým oddělením.
- Vyzařováním pomocí elektromagnetického pole. Způsobují jej všechny proudové smyčky v plošném spoji

Pro odstranění těchto nežádoucích jevů platí tyto zásady:

- Minimalizace hodnotu proudů
- Minimalizace proudových smyček a délky plošných spojů
- Minimalizace rychlosti přenosu – nepoužívat zbytečně rychlé obvody
- Správná filtrace a blokování napájení
- Používat co nejvíce SMD součástky
- Správně používat elektromagnetické a elektrostatické stínění

4.2 Program Eagle pro návrh DPS

Editor plošných spojů EAGLE je uživatelsky přívětivý a výkonný nástroj pro návrh desek plošných spojů (DPS, PCB).

Program se skládá ze tří hlavních modulů:

- Editor spojů
- Editor schémat
- Autorouter

kteří jsou ovládány z jednoho uživatelského prostředí. Proto není třeba konvertovat netlisty mezi schémata a deskami. [12]

4.2.1 Editor schémat

Editor schémat slouží k tvorbě a úpravě vytvořených schémat. Vytvořený soubor má příponu .sch od slova schematic (schéma).

Parametry editoru schémat:

- až 99 listů jednoho schématu
- kontrola elektrických pravidel zapojení
- prohazování hradel a pinů
- vytvoření desky ze schématu jediným příkazem [12]

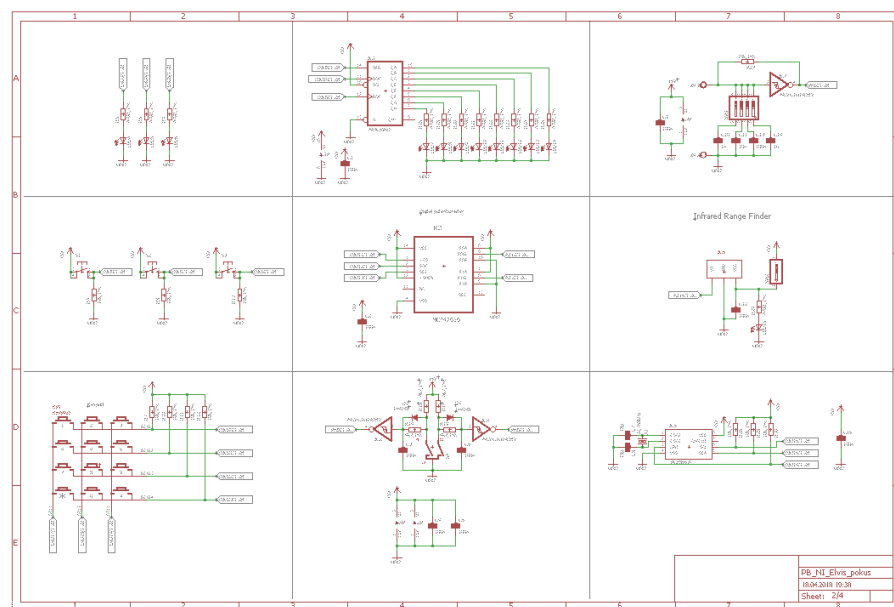
Při samotné tvorbě schématu bylo pro lepší vizuální orientaci celé schéma rozděleno na celkem 4 listy. Jednotlivé části schémat jsou uvedeny v předchozích kapitolách.

List 1 – hlavní konektor desky

Tento konektor slouží jako základní stavební kámen celého schématu. Je umístěn na samostatném listu a na jeho vývody jsou připojeny vodiče odpovídajících názvů. Takto vzniklé uskupení slouží na dalších listech schématu k propojení mezi jednotlivými periferiemi a samotným zařízením NI ELVIS II. Na tomto listě jsou dále přítomny indikační LED pro indikaci přítomnosti napájecích větví +5 V, -15 V a +15 V. V poslední řadě je zde umístěn D_SUB9 konektor, jenž slouží k připojení RS-232 komunikace s MCU.

List 2 a 3 – HW periferie

Na těchto dvou listech jsou periferie, které jsou ovládány přímo pomocí zařízení NI ELVIS II. Samostatné schéma je zde rozděleno do samostatných funkčních bloků. Toto řazení slouží pro větší přehlednost a orientaci v celém schématu, viz Obr. 46.



Obr. 46 - Vzhled schématického listu

List 4 – MCU

List 4 obsahuje řídicí MCU se všemi jeho podpůrnými periferiemi a obvody. Je zde:

- LCD displej
- ovládací tlačítka
- DA převodník
- obvody pro změnu unipolárního rozsahu na bipolární a naopak
- RGB LED diody
- digitální teploměr DS18B20
- převodník napětíových úrovní RS-232 na TTL

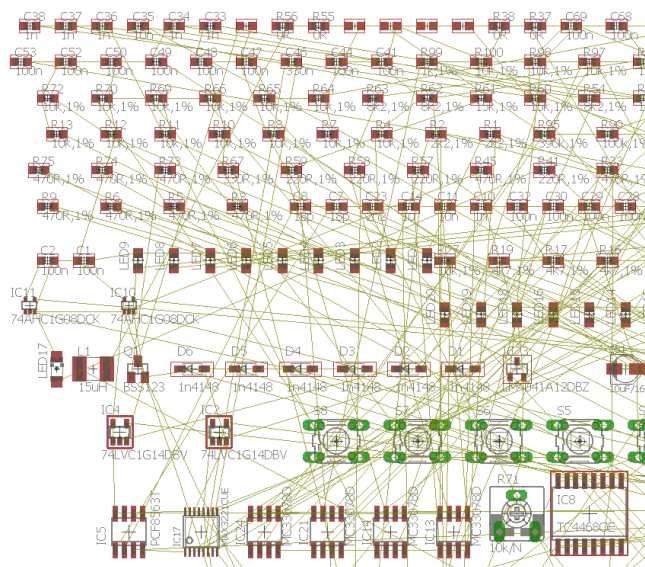
4.2.2 Editor spojů

Po vytvoření elektrického schématu, je možné ze schématu vytvořit soubor s příponou .brd od anglického slova board (deska), který slouží k návrhu desky plošných spojů. Při tvorbě souboru ze schématu se veškeré součástky naimportují i s příslušným pouzdrem a jejich vzájemnými propojeními.

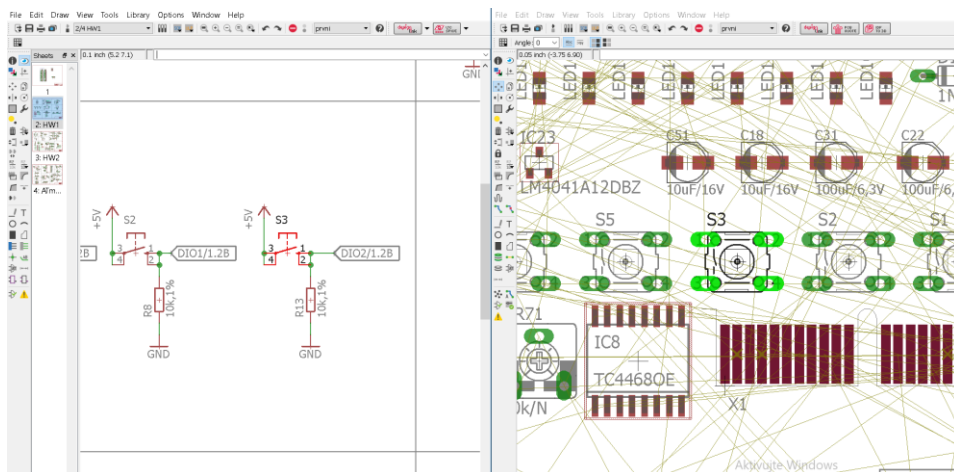
Parametry editoru spojů:

- největší rozměr výkresu 1.6 x 1.6m (64 x 64 inch)
- rozlišení 1/10.000 mm (0,1 mikronu)
- až 16 signálových vrstev
- klasické i SMD součástky
- dodává se s plnou sadou knihoven součástek
- snadné vytváření vlastních součástek v plně integrovaném editoru knihoven
- funkce vpřed/vzad pro LIBOVOLNÝ editační příkaz, do libovolné hloubky
- skriptové soubory pro dávkové zpracování příkazů
- poměření ploch
- funkce kopírovat a vložit pro kopírování kompletních částí výkresu
- kontrola pravidel návrhu
- oblouky ve spojích
- meandry pro rychlé obvody [12]

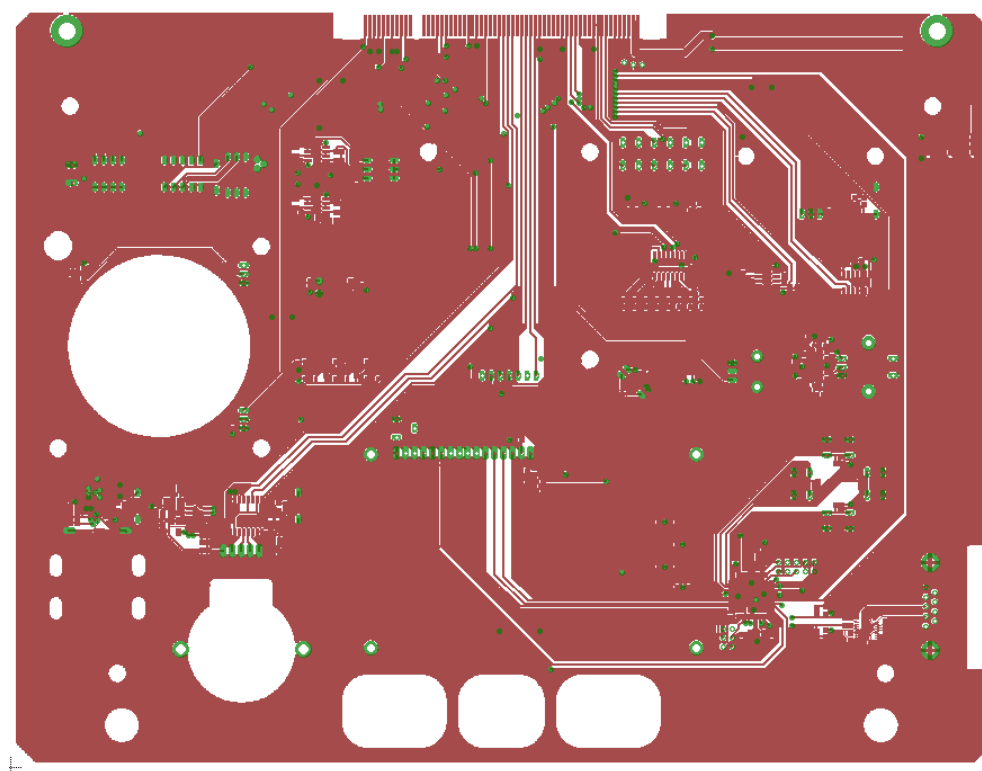
Při vytvoření nového souboru pro editaci spojů a DPS jsou veškeré součástky v pracovním poli náhodně rozmístěny. Toto nahodilé rozložení lze vidět na Obr. 47. Červeně jsou zde zaznačeny pájecí plošky pro SMD součástky ze strany TOP, zeleně poté pájecí otvory pro THT součástky. Žluté čáry zde značí vzájemné vodivé spoje, které ještě nebyly propojeny vodivou cestou. Nejprve je tedy třeba tyto součástky rozřadit podle jejich vazeb na ostatní součástky, tedy je seskupit do jednotlivých bloků.



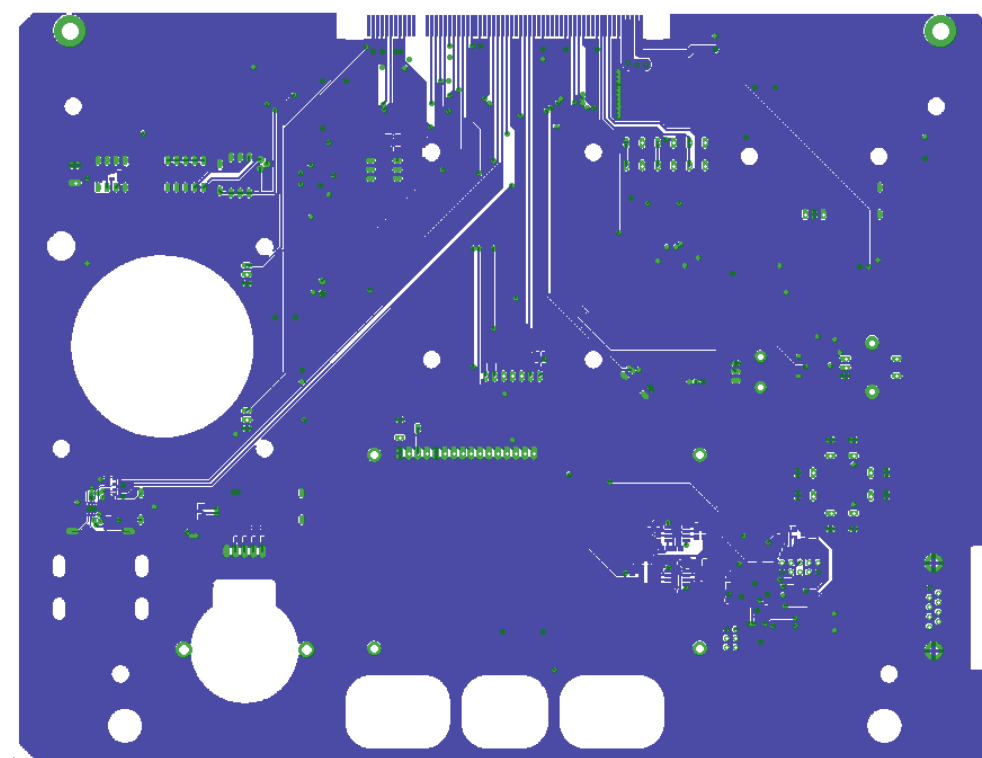
Pro snadnější vyhledávání součástek v editoru spojů slouží nástroj Show. Pomocí tohoto nástroje se poklepaním na součástku ve schématu daná součástka zvýrazní i v editoru spojů Obr. 48. Pro vyhledání součástky lze také využít textového terminálu, do kterého se pro součástku S3 napíše „show s3“.



Deska je navrhována jako čtyřvrstvá. Na vnějších vrstvách jsou rozvedeny signály s rozlitou zemí, uvnitř jsou vedeny zem a napájení + 5 V, ale i jiné napájecí hladiny a signály. Tloušťka vodivých cest je pro vnější vrstvy zvolena 18 μm a pro vnitřní vrstvy 35 μm . Výsledný pohled na vrchní a spodní stranu navržené desky je vyobrazen na Obr. 49 a Obr. 50.

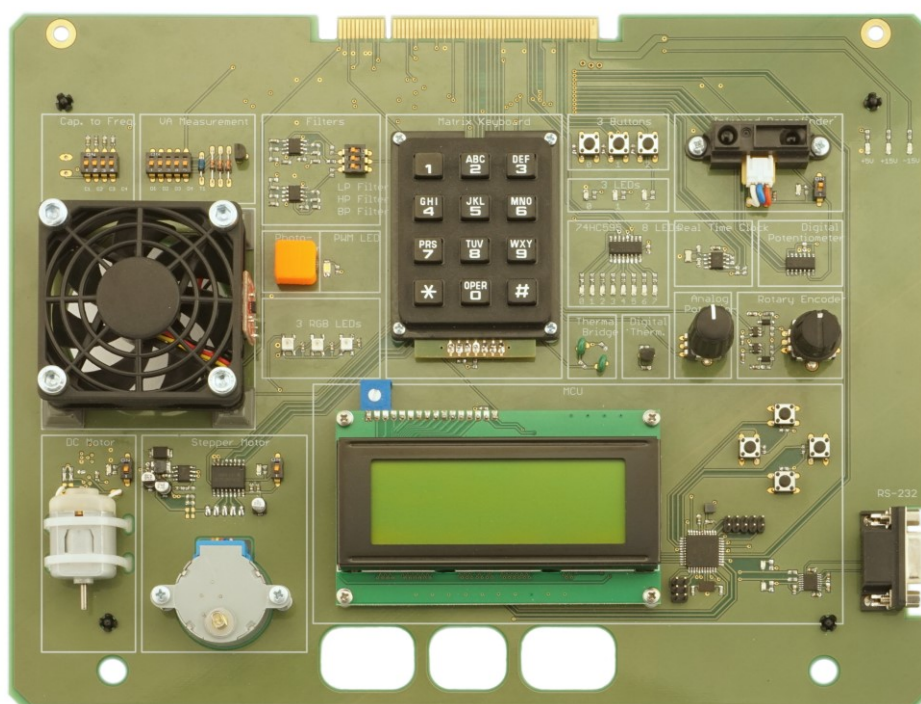


Obr. 49 - Vrstva TOP



Obr. 50 - Vrstva BOTTOM

Na Obr. 51 je fotografie osazeného prototypu výukové desky. Jednotlivé části jsou graficky odděleny a popsány bílým potiskem.



Obr. 51 - Výsledný vzhled prototypu desky

Prototyp desky, zasunutý do konektoru NI ELVIS II je na Obr. 52



Obr. 52 - Prototyp desky zapojený do konektoru NI ELVIS II

4.3 Propojení NI ELVIS II s periferiemi na desce

V následující tabulce Tab. 13 se nachází veškeré propojení signálových linek NI ELVIS II s prototypovou deskou.

Tab. 13 – Použité vývody NI ELVIS II

Vývod	Periferie	Popis
DIO0	tlačítka	tlačítko 1
DIO1		tlačítko 2
DIO2		tlačítko 3
DIO3	LED	LED dioda 1
DIO4		LED dioda 2
DIO5		LED dioda 3
DIO6	-	-
DIO7	-	-
DIO8	posuvný registr 74HC595	serial data
DIO9		storage register clock
DIO10		serial data clock
DIO11	dig. potenciometr MCP42010	CS
DIO12		SCK
DIO13		SDI (MOSI)
DIO14	RTC hodiny MCP7940	SDA
DIO15		SCL
DIO16		MFP
DIO17	klávesnice	sloupec 1
DIO18		sloupec 2
DIO19		sloupec 3
DIO20		řádek 1
DIO21		řádek 2
DIO22		řádek 3
DIO23		řádek 4
PFI0	LED PWM	změna jasu LED pomocí PWM
PFI1	čítání frekvence	měření počtu otáček ventilátoru
PFI2	čítání frekvence	převod kapacita na frekvenci
PFI3	-	-
PFI4	krokový motor (unipolární)	1
PFI5		2
PFI6		3
PFI7		4
PFI8	rot. enkodér	A
PFI9		B
PFI10	DC motor - směr a PWM	jeden směr PWM, druhý zem
PFI11		jeden směr zem, druhý PWM
PFI12	-	-
PFI13	-	-
PFI14	MCU	měření frekvence, PWM od MCU
AI0+	potenciometr	výstup od jezdce potenciometru
AI0-		-
AI1+	fotorezistor	výstup od odporového děliče s fotorezistorem
AI1-		-
AI2+	d. potenciometr MCP42010	výstup od jezdce digitálního potenciometru A
AI2-		výstup od jezdce digitálního potenciometru B

Vývod	Periferie	Popis
AI3+	NTC	diferenční zapojení odporového můstku s dvěma termistory
AI3-		
AI4+	akcelerometr	jedna osa od akcelerometru
AI4-		-
AI5+	IR vzdálenost	výstup IR senzoru vzdálenosti
AI5-		-
AI6+	filtry	společný výstup pro filtry
AI6-		-
AI7+	MCU	simulace různých přístrojů
AI7-		
A00	filtry	vstup pro filtry
A01	MCU	deformace signálu, zkreslení, nelinearita
Supply+	ventilátor	napájení pro ventilátor
Supply-	-	-
FGEN	modulace	výstup modulace
SYNC	-	-
AM	MCU	vstup amplitudová modulace
FM		vstup frekvenční modulace
BASE	měření VA charakteristik	buzení báze
DUT+		kladný pól
DUT-		záporný pól

5 Ověření funkce

Pro jednoduché vyzkoušení některých funkcí NI ELVIS II je možné použít software NI ELVISmx Instrument Launcher, který obsahuje několik předpřipravených programů bez nutnosti tvorby vlastního programu. Tyto programy jsou však jednoúčelové a především slouží k otestování různých funkcí, které ELVIS podporuje.

Výčet některých programů:

- Bode Analyzer – Bodeho analyzátor
- Digital Reader – Čtení digitálních vstupů
- Digital Writer – Zapisování na digitální výstupy
- Function Generator – Funkční generátor
- Oscilloscope – Osciloskop
- Variable Power Supplies – Nastavitelné zdroje napětí
- 8-Channel Oscilloscope – 8-kanálový osciloskop

Na Obr. 53 se nachází aplikace pro čtení stavu digitálních linek. Tento program umožňuje výběr linek 0 – 7, 8 – 15 a 16 – 23. Lze vybrat typ zařízení, zde je to Dev3 (NI ELVIS II) a nakonec mód čtení, kde lze zvolit mezi kontinuálním a jen jedním přečtením stavu linek. Čtení se aktivuje tlačítkem Run a vypne tlačítkem Stop.



Obr. 53 - Aplikace pro čtení stavu digitálních linek

Tyto předpřipravené aplikace bohužel nevyhovují požadavkům pro práci s vytvořeným přípravkem, jako například čtení jednotlivých vstupů, definice PFI linek, tvorba sekvenčního čtení a zápisu. Bylo tedy třeba vytvořit vlastní aplikace v prostředí LabVIEW.

5.1 Programování NI-ELVIS II v LabVIEW

Programovací a vývojové prostředí LabVIEW je produktem americké firmy National Instruments, která je průkopníkem a největším výrobcem v oblasti virtuální instrumentace, technické disciplíny, která zažívá rozvoj v oblasti vývoje, výzkumu, školství a průmyslu. [3]

Pomocí grafického programovacího prostředí LabVIEW lze rychle vytvořit aplikace s profesionálním uživatelským rozhraním. Prostředí LabVIEW podporuje tisíce hardwarových zařízení a obsahuje stovky knihoven pro analýzu a vizualizaci naměřených dat. [1]

Program v LabVIEW se dělí na 2 části:

a) Čelní panel

Čelní panel tvoří uživatelské rozhraní aplikace a určuje její vzhled a chování. Přes jeho objekty lze řídit běh aplikace, zadávat parametr a získávat informace o zpracovávaných výsledcích. Veškeré objekty lze libovolně měnit a upravovat, automaticky přizpůsobovat velikosti okna a další volby. Vizualní prvky se zde z funkčního hlediska dělí na vstupy a výstupy.

Vstupy mohou mít různé podoby, například:

- Tlačítko
- Otočný knoflík
- Posuvný číselný ovladač
- Textový, číselný ovladač pro vkládání textu, nebo hodnot

Výstupy mohou například nabývat těchto podob:

- LED indikátor
- Textový, či číselný zobrazovač hodnot
- Ručkový indikátor
- Grafy

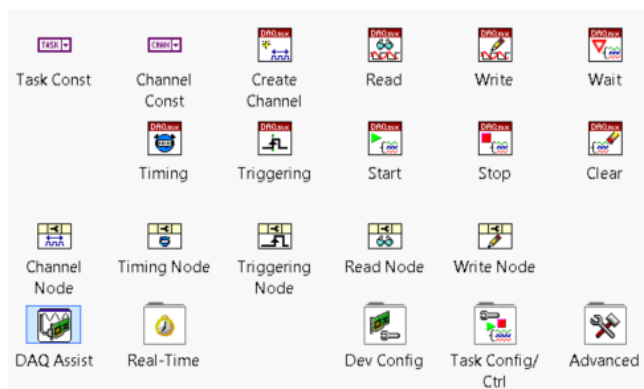
b) Blokový diagram

Na obrazovce blokového diagramu uživatel definuje vlastní algoritmus programu, tedy propojení prvků z čelního panelu a jejich parametry. Každý prvek blokového diagramu má podle své funkce nadefinovány vstupní či výstupní připojovací body. Tyto body lze propojit datovým spojem a dalšími propojovacími prvky.

Grafické objekty, které jsou obsahem blokového diagramu, tvoří zdrojový kód programu. Blokový diagram odpovídá řádkům textu v textově orientovaném programovacím jazyku a je to přímo spustitelný kód, který je překládán během psaní s možností okamžité zpětné vazby při vzniku chyby, jako například spojení neslučitelných datových typů. [1]

5.2 Tvorba demo aplikací v prostředí LabVIEW

Pro ovládání periférií zařízení NI ELVIS II slouží v prostředí LabVIEW paleta DAQmx – Data Acquisition, viz Obr. 54. Na této paletě se nachází veškeré potřebné VI pro vytvoření měřicí úlohy, volby jejích parametrů, čtení, zápis i časování.



Obr. 54 – Karta DAQmx – Data Acquisition

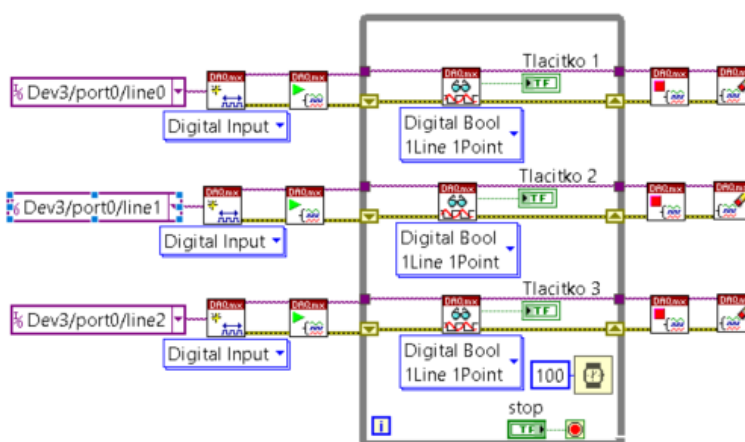
5.2.1 Čtení stavu tlačítek

Na čelním panelu pro čtení digitálních linek, viz Obr. 55, jsou třeba pouze indikátory pro indikování stavu tlačítek a tlačítko pro ukončení běhu programu (program běží ve smyčce).



Obr. 55 – Čtení stavu tlačítek – čelní panel

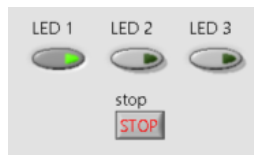
Pro jednoduchost jsou vytvořeny celkem 3 měřicí úlohy, jejichž účelem je měřit stav digitálních linek line0 – line3 (DIO0 – DIO3). Čtení vstupů probíhá po jednom vzorku ve smyčce WHILE. Průběh smyčky je zpožděn na 100 ms, protože čtení vstupů není třeba příliš rychle. Výsledný vývojový diagram je vyobrazen na Obr. 56.



Obr. 56 – Čtení stavu tlačítek – vývojový diagram

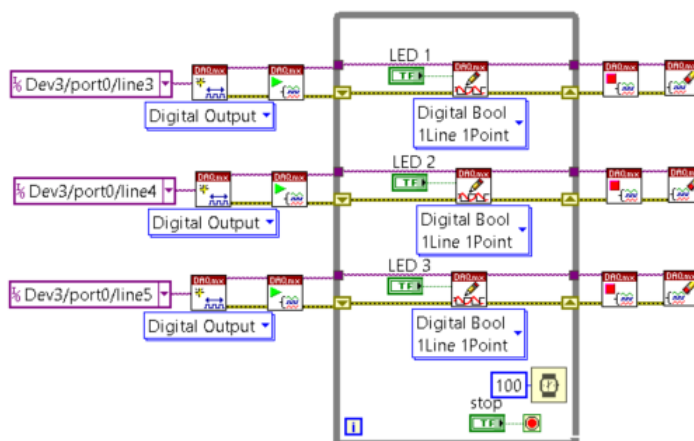
5.2.2 Zápis logického stavu na LED

Čelní panel tohoto programu tvoří 3 binární ovládací prvky – přepínače, které slouží k nastavení požadovaného stavu LED diod, viz Obr. 57. Program probíhá ve smyčce.



Obr. 57 – Zápis na LED – čelní panel

Jsou vytvořeny 3 úlohy pro digitální zápis na linkách 3 – 6 (DIO3 – DIO6), tyto úlohy jsou znázorněny na Obr. 58. Čtení stavu přepínačů z čelního panelu a následný zápis probíhá ve smyčce WHILE, jejíž průběh je zpožděn na 100 ms.



Obr. 58 – Zápis na LED – vývojový diagram

5.2.3 Čtení stisknutého tlačítka klávesnice

Pro vizuální zobrazení zmáčknuté klávesy je na čelním panelu 2D binární pole, sloužící jako indikátor a textové pole v kterém je textem zobrazena hodnota stisknuté klávesy, viz Obr. 55. Tlačítko stop je pro zastavení běhu programu.

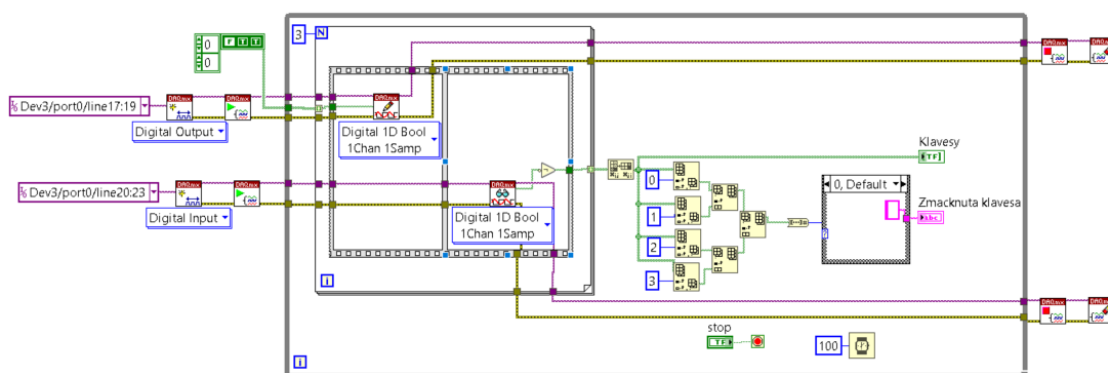


Obr. 59 – Čtení klávesnice – čelní panel

Jsou vytvořeny 2 úlohy:

- Úloha pro zápis digitálních hodnot na linky 17 – 19 (sloupce).
- Úloha pro čtení digitálních linek 20 – 23 (řádky).

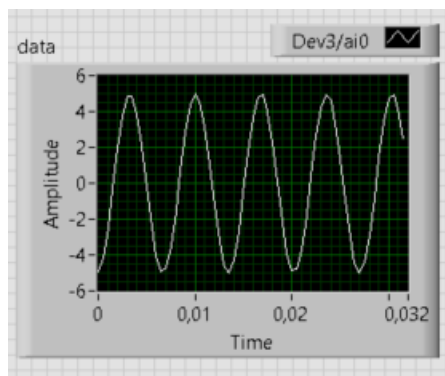
Pro kontinuální běh programu je ve vývojovém diagramu, viz Obr. 60, přítomná smyčka WHILE. Zápis a čtení linek probíhá uvnitř smyčky FOR, jež proběhne celkem třikrát. Konstanta 2D binárního pole v sobě skrývá potřebnou posloupnost 011, 101 a 110, která udává kontrolovaný sloupec. Po přečtení jednotlivého sloupce je třeba tyto data znegovat, neboli převrátit hodnotu jejich logického stavu. Negace se provádí z důvodu neaktivního stavu v logické 1, což by vedlo k tomu, že by se neaktivní klávesy v indikátoru zobrazily jako aktivní. Vzniklou maticí logických stavů je dále třeba transponovat, protože v aktuální podobě by se data zobrazovala ve vertikální a ne horizontální poloze. Pro textové zobrazení zmáčknuté klávesy je v programu case struktura, kde je pro každou kombinaci samostatně zmáčknuté klávesy přiřazen odpovídající text.



Obr. 60 – Čtení klávesnice – vývojový diagram

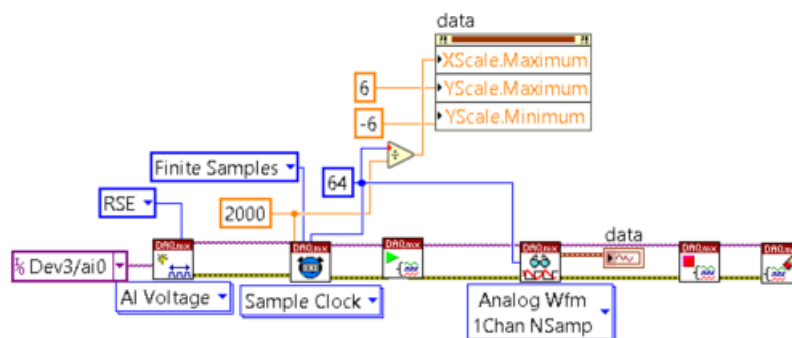
5.2.4 Čtení analogového vstupu – potenciometr

Pro čtení analogového vstupu je třeba mít zapnutý výstup funkčního generátoru. Na čelním panelu, viz Obr. 61, je pro zobrazení dat přítomen graf, který dovoluje pozorovat časový průběh amplitudy signálu.



Obr. 61 – Čtení analogového vstupu – čelní panel

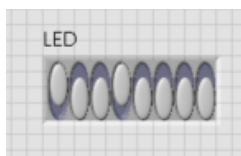
Měřicí úloha je nastavena na vstup AI0, typ zapojení analogového vstupu je jako RSE. Vzorkovací frekvence je nastavena na 2 kHz, typ vzorkování na konečný počet vzorků a počet zaznamenaných vzorků je 64. Dále je zde nastavení os grafu, aby nedocházelo k automatickému roztahování, smršťování os. Vývojový diagram aplikace je vyobrazen na Obr. 62.



Obr. 62 – Čtení analogového vstupu – vývojový diagram

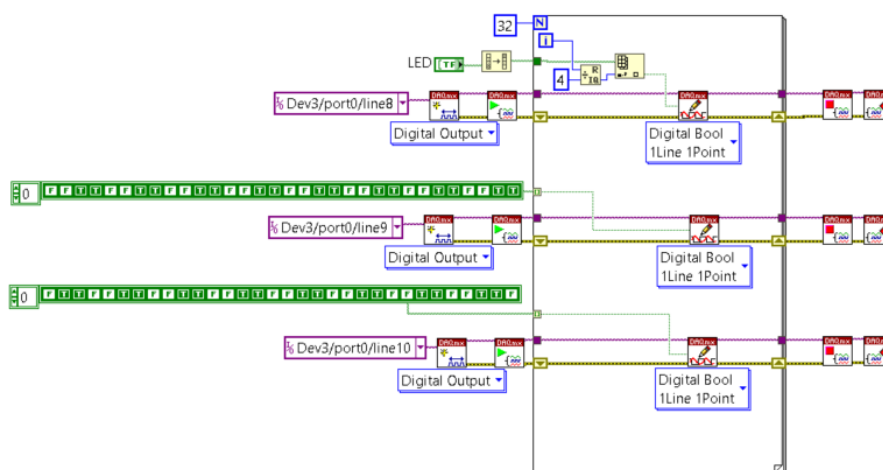
5.2.5 Sekvenční zápis – posuvný registr

Posuvný registr má na svých výstupech zapojen 8 LED diod a tak je na čelním panelu přítomno 8 binárních přepínačů, umístěných v poli, viz Obr. 63.



Obr. 63 – Posuvný registr – čelní panel

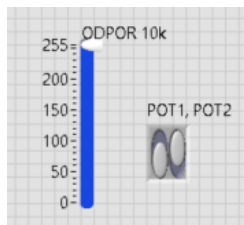
Řídící signály STCP (linka 9) a SHCP (linka 10) je třeba mít vzájemně posunuty o 90° . K tomu jsou vytvořeny dvě 1D konstantní bitová pole o velikosti 32 bitů. Zápis dat na digitální výstupy probíhá v cyklu FOR, který proběhne celkem 32krát. Indexy hodnot 1D pole tlačítek jsou zrcadlově převráceny podle středu, protože posuvný registr první zobrazovanou hodnotu posune až na konečnou pozici, druhou hodnotu na předposlední pozici atd. Toto pole je poté prodlouženo na 32 bitů – 1. bit je na prvních 4 bitech, 2. bit je na dalších 4 bitech atd. Vývojový diagram je uveden na Obr. 64. Po proběhnutí programu se na výstupech posuvného registru rozsvítí požadované LED diody.



Obr. 64 – Posuvný registr – vývojový diagram

5.2.6 Sekvenční zápis – SPI potenciometr

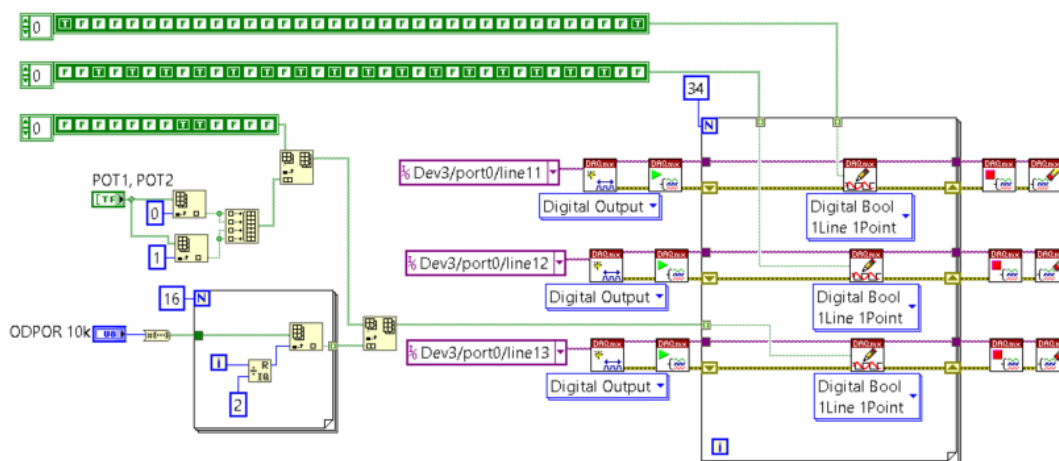
Pro nastavení hodnot potenciometru je na čelním panelu, viz Obr. 65, přítomen posuvný ovladač, nabývající hodnot od 0 do 255. Další ovládací prvek jsou 2 přepínače v 1D pole, které slouží k volbě požadovaného potenciometru.



Obr. 65 – SPI potenciometr – čelní panel

SPI komunikace s digitálním potenciometrem je popsána v kapitole 2.2.3. Horní 1D bitové pole obsahuje data pro zápis na signál SS, zařízení se zaktivuje po přechodu z logické 1 do logické 0. Prostřední pole jsou hodnoty pro generování hodinového signálu. Data SPI komunikace jsou čtena s nástupnou hranou hodinového signálu, čemuž je přizpůsobeno poslední datové pole. To se skládá z konstantní části příkazu pro zápis dat, dále z hodnot binárního ovladače POT1, POT2 a nakonec z hodnoty požadovaného odporu. Hodnoty pole POT1, POT2 i binární hodnota požadovaného odporu jsou prodlouženy na dvojnásobnou délku, viz vývojový diagram Obr. 66.

Po spuštění programu dojde ke změně odporového poměru na zvoleném potenciometru. Změnu odporu lze pozorovat změnou hladiny napětí na analogovém vstupu AI2, který je zapojen diferenciálně, tedy je zde možné pozorovat napětí od -5 V do +5 V, které je závislé na nastavených hodnotách odporu potenciometrů.



Obr. 66 – SPI potenciometr – vývojový diagram

5.2.7 PWM LED a čtení napětí na fotorezistoru

Tato úloha využívá čítač/časovač v režimu generování PWM signálu, na vývodu PFI0. Hodnota generovaného PWM signálu se promítne na úrovni jasu připojené LED diody. Aby bylo generované světlo LED diody plynulé a nedocházelo k viditelnému blikání, je třeba vhodně zvolit frekvenci generovaného signálu (v tomto případě 100 Hz). Hodnota střidy signálu může nabývat hodnot od 1 % do 99 %.

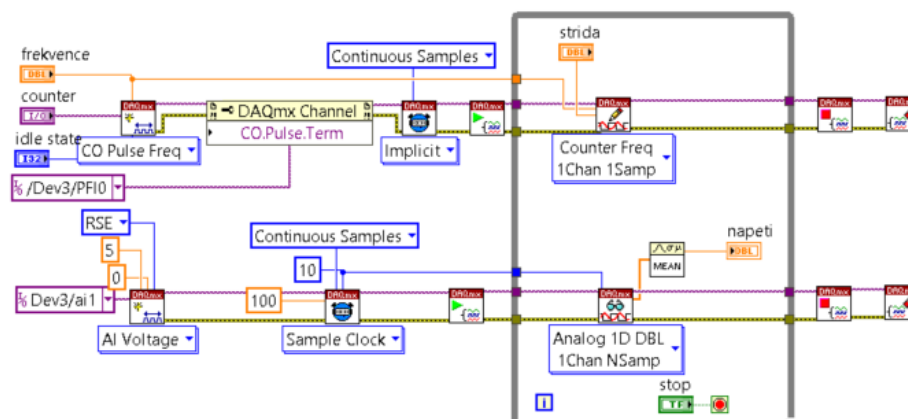
Na čelním panelu je číselný vstup „frekvence“ pro zadání frekvence PWM, posuvný ovladač „střida“ pro zvolení generované střidy PWM signálu. Dále je přítomen ovladač „idle state“ pro výběr nečinného stavu, tedy stavu, který bude na lince PFI0 po ukončení generování PWM signálu, a také je zde vstup pro výběr čítače. Pro zobrazení naměřené hodnoty napětí je na čelním panelu přítomen číselný indikátor „napětí“. Posledním ovládacím prvkem je zde tlačítko „stop“, sloužící k ukončení běhu programu. Na Obr. 67 jsou pro porovnání zobrazeny 2 čelní panely. Na levém panelu je nastavena střída PWM na 0,1 a výsledné změřené napětí na fotorezistoru dosahuje hodnoty 2,54 V. Na pravém panelu je poté nastavená střída PWM signálu 0,8, což se projeví zvýšením svitu LED diody a následným poklesem napětí na fotorezistoru na hodnotu 0,88 V.



Obr. 67 – PWM LED + fotorezistor – čelní panel

Na vývojovém diagramu Obr. 68 jsou přítomny 2 úlohy:

- Úloha pro generování signálu, nastavená jako výstup čítače pro pulzní generování frekvence. Přítomný „Property node“ se vstupním parametrem „CO.Pulse.Term“ slouží k nastavení výstupní linky. Vzorkování je nastaveno jako kontinuální s implicitním zdrojem HW hodin.
- Úloha pro měření napětí na fotorezistoru, nastavená pro měření napětí na vstupu AI1, v rozsahu 0 – 5 V, a režimu RSE. Vzorkovací frekvence je nastavena na 100 Hz a počet změřených hodnot na 10. Naměřené hodnoty se průměrují a poté zobrazí v číselném indikátoru.

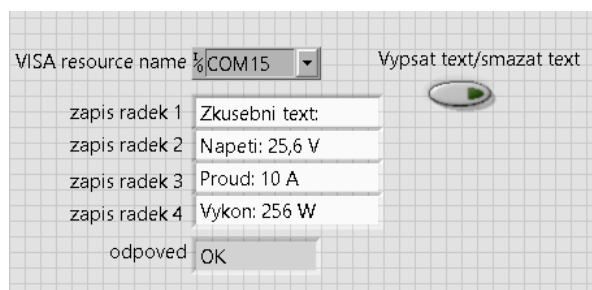


Obr. 68 – PWM LED + fotorezistor – vývojový diagram

5.2.8 Ovládání LCD displeje pomocí PC

Pro ovládání LCD displeje, připojeného k řídicímu MCU, slouží zasílání textů, případně příkazu pro vymazání displeje po sériové lince RS-232. Řídicí MCU zde hraje roli překladče textových řetězců na zápis dat pro řadič LCD displeje.

Na čelním panelu demo aplikace pro vypisování a mazání textů LCD displeje Obr. 69 se nachází ovladač pro výběr použité sériové linky, přepínač pro výběr mezi zápisem a smazáním textu, 4 vstupní textové pole obsahující zobrazovaný text a nakonec textový indikátor pro zobrazení odpovědi od MCU.



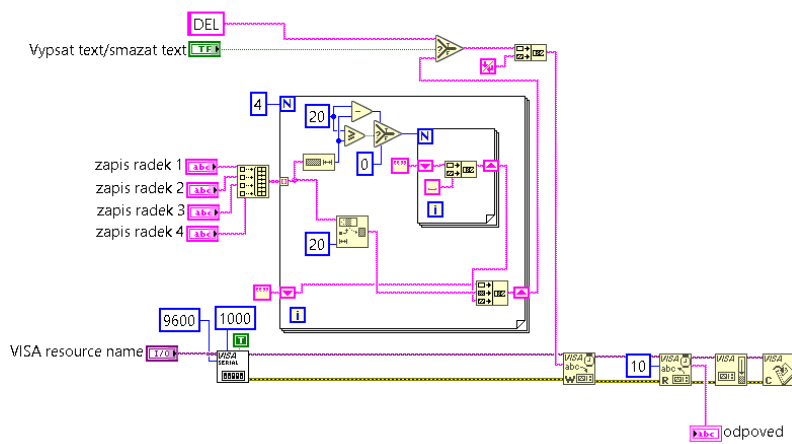
Obr. 69 – Ovládání LCD displeje pomocí PC – čelní panel

Jelikož musí být na jednom řádku zobrazeno přesně 20 znaků, je třeba zkontrolovat každý z řádků na délku jeho textového řetězce. Pokud je řetězec delší než 20 znaků, dojde k jeho zkrácení, pokud je naopak kratší, pak dojde k jeho prodloužení o příslušný počet mezer. Jednotlivé řádky jsou poté sloučeny do jednoho textového řetězce o celkové délce 80 znaků. Tyto operace jsou vyobrazeny na Obr. 70.

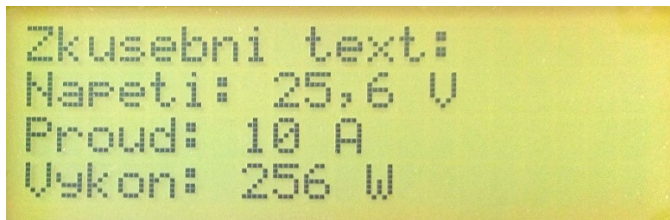
V případě, že došlo k přepnutí vypínače pro vymazání textu, dojde k výběru textového řetězce pro smazání displeje „DEL“, jinak je vybrán textový řetězec pro výpis na displej. Vybraný textový řetězec je poté rozšířen o ukončovací znak (nový řádek).

K sériové komunikaci po RS-232 jsou použity prvky z karty „VISA“. Nejprve dojde k nastavení sériového portu – čísla portu, rychlosti přenosu, časového limitu pro čtení/zápis. Následuje samotný zápis textového řetězce, po kterém dochází ke čtení odpovědi od MCU. Na závěr dojde k vyprázdnění

paměťového zásobníku sériové komunikace a uzavření sériového portu. Výsledný zobrazený text na LCD displeji je na Obr. 71.



Obr. 70 – Ovládání LCD displeje pomocí PC – vývojový diagram



Obr. 71 – Vypsaný text na LCD displeji

Závěr

V diplomové práci bylo využito teoretických znalostí nabytých při studiu. Při vybírání použitých komponent probíhalo testování použitých obvodů na desce, obsahující nepájivá pole, dodané se systémem NI ELVIS II. Díky tomuto testování se ověřila funkčnost elektronických obvodů realizovaných na desce plošných spojů. Úlohy byly navrženy pro začínající a mírně pokročilé uživatele programovacího prostředí LabVIEW a jsou tak vhodné k výuce virtuální instrumentace na středních a vysokých školách. Navržené úlohy začínají nejjednodušší prací s digitálním čtením a zápisem, čtením analogových vstupů a přechází do sekvenčních zápisů digitálních dat, práce s čítači, časovači. Pro každé elektronické zapojení je v práci uvedeno schéma zapojení, případně výpočty součástek, proudů, výkonů.

Výsledkem práce je čtyřvrstvá deska, která byla navrhovaná v programu EAGLE. Tato deska obsahuje v textu blíže popisované periferie. Propojení desky se systémem NI ELVIS II se provádí pomocí konektoru, popsaného v kapitole 1.2. Pomocí tohoto pevného způsobu připojení periferií je eliminována chyba vznikající nesprávným zapojením měřených obvodů. Protože jsou veškeré obvody pevně umístěny na DPS, nelze provádět úpravy elektronického zapojení obvodů. Tato nevýhoda je vyvážena pestrou škálou připravených elektronických zapojení.

Použití MCU v diplomové práci má své opodstatnění v tom, že lze s jeho pomocí simulovat všemožné obvody, generátory nebo měřicí přístroje. Program pro MCU byl tvořen v jazyce C. Úlohy, přítomné v programu MCU se spouští a je možné je ovládat pomocí přítomných směrových tlačítek. V některých případech tvoří MCU prostředníka mezi řídicím PC a systémem NI ELVIS II. V tomto případě je program MCU ovládán pomocí textových příkazů, zasílaných sériovou linkou RS-232. Díky MCU tak lze dále rozšířit desku o libovolný počet úloh. Tyto úlohy lze vytvořit dle individuálního požadavku potenciálního zákazníka.

Pro ověření funkčnosti na desce přítomných elektrických obvodů a periferií byly v prostředí LabVIEW vytvořeny demonstrační aplikace. Některé z těchto aplikací jsou popsány v kapitole 5.2. U každé popsané úlohy je vyobrazen vzhled čelního panelu a vývojový diagram. Demonstrační aplikace jsou přítomny v přílohách na přiloženém CD.

Seznam použité literatury

- [1] Bress, Thomas J. 2013. *Effective labview programming*. Allendale : National Technology & Science Press. ISBN 1-934891-08-8.
- [2] Šandera, Josef. *Návrh plošných spojů pro povrchovou montáž*. Praha : BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-181-0.
- [3] Vlach J., Havlíček J., Vlach M. *Začínáme s LabVIEW*. Praha : BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [4] Punčochář, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. Praha : BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-058-X.
- [5] Palacký, Petr. *Mikropočítačové řídicí systémy I*. Ostrava : Vysoká škola báňská, technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1494-0.
- [6] Láníček, Robert. *Elektronika, obvody - součástky - děje*. Praha : BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-25-2.
- [7] Abel, Martin. *Plošné spoje se SMD, návrh a konstrukce*. Prdubice : Platan, 2000. ISBN 80-902733-2-7.
- [8] PWM. *Arduino*. [Online] [Citace: 22. 1. 2018] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>.
- [9] HW server představuje - Sériová linka RS-232. *vyvoj.hw.cz*. [Online] [Citace: 22. 1. 2018] <https://vyvoj.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html#parametry>.
- [10] EC12E20-24P24C-SW. *Datasheet*. [Online] [Citace: 22. 1. 2018] <https://www.tme.eu/cz/Document/3355ee49dae2859b0bf824db7ca698f7/EC12E20-24P24C-SW.pdf>.
- [11] GP2Y0A41SK0F. *Datasheet*. [Online] [Citace: 22. 1. 2018] <https://www.tme.eu/cz/Document/f9713867366250fc6fa43f81eb3043a2/GP2Y0A41SK0F.PDF>.
- [12] Eagle Online. [Online] [Citace: 18. 4. 2018] <http://www.eagle.cz/info.htm>.
- [13] 74HC595. *Datasheet*. [Online] [Citace: 12. 3. 2018] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf>.
- [14] ADXL337. *Datasheet*. [Online] [Citace: 15. 3. 2018] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL337.pdf>.
- [15] ATmega644PA. *Datasheet*. [Online] [Citace: 18. 4. 2018] http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42717-ATmega644PA_Datasheet.pdf.
- [16] Filter Design and Analysis. *Okawa Electric Design*. [Online] [Citace: 16. 8. 2017] <http://sim.okawa-denshi.jp/en/Fkeisan.htm>.
- [17] LM7805. *Datasheet*. [Online] [Citace: 28. 4. 2018] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.

- [18] Microchip. MCP42010. *Datasheet*. [Online] [Citace: 22. 1. 2018]
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11195c.pdf>.
- [19] NI ELVIS II Prototyping Board Pinouts. *National Instruments*. [Online] [Citace: 5. 11. 2017]
http://download.ni.com/pub/gdc/tut/elvis_ii_proto-board_pins.pdf.
- [20] NI ELVIS II Series Specifications. *National Instruments*. [Online] [Citace: 5. 11. 2017]
<http://www.ni.com/pdf/manuals/372590b.pdf>.
- [21] NI ELVIS II User Manual. *National Instruments*. [Online] [Citace: 5. 11. 2017]
<http://www.ni.com/pdf/manuals/374629c.pdf>.
- [22] PCF8583. *Datasheet*. [Online] [Citace: 12. 3. 2018] <https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/PCF8583.pdf>.
- [23] Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu. *automatizace.hw.cz*. [Online] [Citace: 15. 3. 2018]
<https://automatizace.hw.cz/rotacni-enkodery-pro-rizeni-pohonu-a-pohybu.html>.

Přílohy

A. Obsah CD

- Diplomová práce ve formátu PDF
- Dokumentace k NI ELVIS II
- Dokumentace k použitým součástkám
- Demonstrační aplikace vytvořené v prostředí LABVIEW